DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Dreizehnter Jahrgang | 5. Juni 1925 | Heft 23

Die Naturwissenschaften an den preußischen Realanstalten nach der Neuordnung von 1924.

Von F. Poske, Berlin-Dahlem.

In dem Aufsatz über den naturwissenschaftlichen Unterricht und die Neuordnung des preußischen höheren Schulwesens[1]) habe ich hauptsächlich auf die humanistischen Gymnasien bezug genommen, an denen keine der seit lange erhobenen Forderungen für die Vermehrung der naturwissenschaftlichen Stunden auf der Oberstufe erfüllt worden ist. Bedauerlicher noch steht die Sache für die Realanstalten, und zwar im besonderen für die *Realgymnasien*, an denen auch nach den revidierten Lehrplänen vom 30. Oktober 1924 eine nicht unerhebliche Verminderung der Zahl der naturwissenschaftlichen Unterrichtsstunden eingetreten ist. Bisher waren die Realgymnasien neben den Oberrealschulen die Hauptträger der naturwissenschaftlichen Jugendbildung gewesen, es waren an ihnen die Naturwissenschaften auf der Oberstufe von O II bis O I je 5 Stunden zugewiesen; diese sind in den neuesten Stundentafeln auf 3 + 4 + 4 vermindert worden. Jene 5 + 5 + 5 Stunden der Oberstufe waren in den Lehrplänen von 1901 derart verteilt, daß der Physik je 3, der Chemie je 2 Stunden zugewiesen waren, während für Biologie überhaupt kein Raum geblieben war, wenn nicht der Chemielehrer, falls er zugleich Biologe war, einige Chemiestunden auf biologische Belehrungen verwandte, oder etwaige wahlfreie Stunden für diesen Zweck zur Verfügung standen. Es wäre also eher eine Vermehrung als eine Verminderung der Stundenzahl zu erwarten gewesen. Von den zur Verfügung stehenden 3 + 4 + 4 Stunden in den Oberklassen wird voraussichtlich ein Teil der Physik, das übrige der Chemie zufallen, so daß für Biologie auch hier wieder nichts übrig bleibt, die Physik aber auf etwa dieselbe knappe Zeit, die ihr am Gymnasium zugewiesen ist, beschränkt wird. Wollte man gar, wie hier und da vorgeschlagen, die karge Stundenzahl auf alle drei Fächer verteilen, so bliebe nichts übrig, was noch auf den Namen einer naturwissenschaftlichen Bildung Anspruch machen kann. Dies ist ein ganz unhaltbarer Zustand, entsprechend der Geringschätzung, die die Naturwissenschaften in der „Neuordnung" erfahren haben (man vergleiche den oben erwähnten Aufsatz), und gegen die immer wieder Protest erhoben werden muß.

Der äußere Anlaß für diese Benachteiligung der Naturwissenschaften war die völlig ungerechtfertigte Spaltung des höheren Bildungswesens in vier Schultypen nach willkürlich festgelegten Bildungszielen, nämlich in altsprachliche, neusprachliche, mathematisch-naturwissenschaftliche und deutschkundliche Anstalten. Im besonderen gegen die Abstempelung der Realgymnasien zu neusprachlichen Anstalten ist innerhalb des deutschen Realschulmännervereins selbst von neusprachlicher Seite sehr entschieden Einspruch erhoben worden[2]). Bei aller Anerkennung der in den neueren Sprachen liegenden Bildungselemente wird doch Stellung genommen gegen die Einführung in den sog. Europäismus, dessen einseitige Betonung unsere ewig gefährdete deutsche Eigenart nicht gerade fördern würde. Es wird vielmehr mit Recht eine stärkere Pflege des Lateinischen erfordert, als in der „Neuordnung" vorgesehen war (dies ist denn auch in den revidierten Plänen vom 31. Oktober 1924 bis zu einem gewissen Grade geschehen). Vor allem aber wird selbst vom Neusprachler verlangt, daß „den Naturwissenschaften an beiden Formen des Realgymnasiums (altes RG. und Reform-R.G.) die bisherige Stundenzahl verbleiben müsse, wenn die Schüler einen wirklichen Einblick gewinnen sollen in den gesetzmäßigen Zusammenhang der Naturerscheinungen und die Bedeutung der Naturgesetze für das Leben." Dieser Forderung hat sich auch der deutsche Realschulmännerverein in seinen Leitsätzen zur preußischen Schulreform im wesentlichen angeschlossen. Dem ist aber auch in den veränderten Plänen *nicht* entsprochen worden.

Aus dem Vorstehenden wird zur Genüge hervorgehen, daß die Überzeugung von der Unhaltbarkeit des jetzt eingetretenen Zustandes auch in den Kreisen nichtnaturwissenschaftlicher Schulmänner geteilt wird. Das Realgymnasium ist eben von jeher der Vermittler realistischer Bildung gewesen, in der Verbindung dieser Bildung mit der Kenntnis des Lateinischen ist die „unverwüstliche Lebenskraft" begründet, die dem Realgymnasium innewohnt und die seine immer wieder bewährte Beliebtheit in vielen Bevölkerungsschichten herbeigeführt hat. Diese Bewährheit darf nicht durch einen von völligem Mißverständnis der wahren deutschen Kulturbedürfnisse zeugenden Eingriff gestört oder gar zerstört werden.

Noch übler steht es an den *Reform-Realgymnasien*, deren Zahl in letzter Zeit erheblich zugenommen hat, hauptsächlich wohl aus dem Grunde, weil sie auf der Unterstufe bis O III einen mit dem der Oberrealschulen übereinstimmenden Unterbau haben und mit dem Latein erst in U II einsetzen. Sie weisen der ersten Fremdsprache (zumeist dem Französischen), die sie schon von VI an betreiben, eine verhältnismäßig hohe Stundenzahl zu, lassen die zweite neue Fremdsprache (meist das Englische) in U III eintreten und beschränken das Latein mit je 4 Stunden auf die vier obersten Klassen. Die Folge ist, daß durch den Betrieb von drei Fremdsprachen nebeneinander auf der Oberstufe die Zeit so stark in Anspruch genommen wird, daß für die Naturwissenschaften nur noch je drei Stunden übrig bleiben, eine Stundenzahl, die gerade nur hinreicht, um die Physik in dem bisherigen Ausmaß zu betreiben. Hier könnte nur dadurch, daß die von VI an gelehrte Fremdsprache in den letzten Schuljahren stärker zurücktritt, ein genügender Spielraum für die Naturwissenschaften geschaffen werden. Fordert doch selbst der Realschulmännerverein, daß eine neuere Fremdsprache auf der Oberstufe eingeschränkt, wenn nicht wahlfrei gemacht werden solle. Es muß unbedingt dafür gesorgt werden, daß noch zwei weitere Stunden den Naturwissenschaften zugewiesen werden, wenn auch nur bescheidenen Ansprüchen in der Chemie und der Biologie an dieser „realistischen" Lehranstalt Rechnung getragen werden soll.

[1]) Die Naturwissenschaften 13, H. 4, S. 73. 1925.

[2]) Das Realgymnasium und die preußische Schulreform. Von Prof. Dr. Becker in Duisburg. 24 S. Leipzig: Quelle & Meyer 1925.

Die *Oberrealschulen* sind ja in der Neuordnung als spezifisch mathematisch-naturwissenschaftliche Bildungsanstalten bezeichnet. Dennoch ist selbst hier den Anforderungen des naturwissenschaftlichen Unterrichtes nicht völlig genügt. An Lehrstunden hätten, wie z. B. längst an den Hamburger Oberrealschulen der Fall, 7 angesetzt werden müssen, damit die Verteilung 3 + 2 + 2, für die drei naturwissenschaftlichen Fächer, entsprechend den Vorschlägen des Damnu, möglich geworden wäre. Für die naturwissenschaftlichen Schülerübungen ist kein ausreichender Raum geschaffen, vielmehr sind die bisherigen doch wenigstens wahlfrei angesetzt gewesenen Stunden weggefallen. Die jetzt für sog. Ersatzunterricht vorgesehenen 6 wahlfreien Stunden werden so vielseitig in Anspruch genommen sein, daß es im allgemeinen nicht möglich sein wird, diese Stunden wie bisher den naturwissenschaftlichen Übungen vorzubehalten. In Anerkennung der Wichtigkeit dieser Übungen verlangt auch der deutsche Realschulmännerverein, daß für solche Übungen, die für einen zeitgemäßen naturwissenschaftlichen Unterricht unentbehrlich seien, der erforderliche Raum zu gewähren sei.

An den *deutschen Oberschulen* — von denen zur Zeit nur erst wenige Anstalten eingerichtet sind — hätte man erwarten dürfen, daß bei der Beschränkung der Lehrverfassung auf zwei neuere Sprachen, die kulturkundlichen und die mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer, den letzteren reichlicherer Raum zugemessen sei. Aber weit gefehlt! Auf der Oberstufe sind ihnen je 4 Stunden zugewiesen, zu wenig für einen normal ausgestalteten Unterricht. Es wäre hier dieselbe Stundenzahl wie am Realgymnasium zu fordern. Diese Schulgattung, die deutsche Oberschule, ist übrigens von den Regierungen mehrerer deutscher Länder als den übrigen höheren Schulen nicht gleichwertig abgelehnt worden, so daß die Gefahr einer weiteren Ausbreitung nicht groß sein dürfte.

Fassen wir zusammen: Es wird alles daran gesetzt werden müssen, daß die die Naturwissenschaften schädigenden Maßnahmen der obersten preußischen Unterrichtsbehörde wieder rückgängig gemacht werden. Wenn der deutsche Ausschuß für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht in dieser Richtung nichts erreicht hat, so liegt die Ursache vor allem in der ausgesprochen feindseligen Stellung des Urhebers der Reformpläne gegen die naturwissenschaftliche Bildung überhaupt. Für die Mathematik sind mehr Erfolge erzielt worden; hier ist es gelungen zu erreichen, daß am Gymnasium die ursprüngliche Stundenzahl fast vollständig wiederhergestellt wurde, und daß am Realgymnasium die Stundenzahl doch wenigstens auf eine der des Gymnasiums entsprechende (durchweg 4 Stunden in jeder Klasse) erhöht wurde. Diese Erfolge dürften vornehmlich dem Umstande zu verdanken sein, daß sich Hochschullehrer der Mathematik mit großer Energie bei der Behörde selbst für die höhere Bewertung dieses Gegenstandes eingesetzt haben. Für die Naturwissenschaften hat es an einem derartigen Eintreten fast ganz gefehlt, während in England schon während des Weltkrieges Vertreter der verschiedenen Richtungen naturwissenschaftlicher Forschung ihre gewichtige Stimme für die Verbesserung des naturwissenschaftlichen Unterrichts erhoben haben. Es ist dringend zu wünschen, daß auch bei uns die Vertreter der Naturforschung an den Hochschulen die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Bildung für unsere Kultur und unseren Wiederaufstieg erkennen und diese Erkenntnis in einer kräftigen Einwirkung auf die oberste Unterrichtsbehörde zum Ausdruck bringen. Die Vertreter der Naturwissenschaften und der Technik müssen es als einen schreienden Widerspruch empfinden, daß in demselben Jahre, in dem die deutsche Naturwissenschaft und Technik durch Eröffnung des deutschen Museums in München einen Triumpf ohne gleichen erlebt, eine preußische Neuordnung des höheren Schulwesens in Kraft tritt, die das naturwissenschaftliche Zeitalter als überwunden ansieht und die Naturwissenschaften im höheren Unterricht bis zur Unerträglichkeit einschränkt.

Der Comptoneffekt.

Seine Entdeckung und seine Deutung durch die Quantentheorie.

Von H. MARK, Berlin-Dahlem.

In der Theorie der optischen Erfahrungstatsachen besteht gegenwärtig ein Dualismus unserer Anschauungen, welcher gegenüber dem offenkundig einheitlichen Ursprung aller mit dem Licht zusammenhängenden Erscheinungen als besonderer Mangel empfunden werden muß. Wie hauptsächlich EINSTEIN (1) hervorhob, verlangen alle auf die Emission und Absorption der Strahlung bezüglichen Vorgänge eine der Quantentheorie entnommene Auffassung, deren extremste Konsequenz die „Lichtquanten" sind, während Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz des Lichtes in vollem Umfange von der „klassischen" Wellentheorie wiedergegeben werden. Diese Kompetenzbereiche der beiden konkurrierenden Theorien waren bereits vor etwa 10 Jahren in großen Umrissen gegeneinander abgesteckt, und seither war jeder Vorstoß, sei es in der einen oder in der anderen Richtung nicht von dauerndem Erfolg begleitet gewesen.

Da teilte im Sommer des Jahres 1923 A. H. COMPTON (2) einen Versuch mit, welcher geeignet erschien, die oben erwähnte Grenze zwischen Wellen- und Quantentheorie des Lichtes wiederum ein Stück zugunsten der Quantentheorie zu verschieben. Denn dieser Versuch förderte einen bei der bloßen Zerstreuung von Röntgenstrahlen auftretenden Umstand zutage, dessen Deutung zunächst nur mit Hilfe der Quantentheorie möglich erscheint. Wie bei allen Entdeckungen, deren experimentelle Feststellung an die Grenzen der Leistungsfähigkeit unserer Hilfsmittel zu gehen erfordert, hat sich auch hier Widerspruch gegen die Realität des gefundenen Effektes erhoben, und es hat trotz Mitarbeit der erfahrensten Röntgenphysiker 20 Monate gedauert, bis die Verhältnisse so weit geklärt waren, daß man heute der Existenz des Comptoneffektes wohl sicher sein kann.

Es scheint daher der Zeitpunkt gegeben, auf

das grundlegende Experiment und auf seine Deutung, welche gleichzeitig von COMPTON (3) und von DEBYE (4) erfolgte, näher eingehen zu dürfen.

Der Comptonsche Grundversuch.

Was versteht man unter dem Comptoneffekt? Um diese Frage zu beantworten, ist es zweckmäßig, zunächst den Vorgang der Zerstreuung des Lichtes durch Materie und seine Begleiterscheinungen kurz zu rekapitulieren. Wenn auf einen Körper — etwa auf die weiße Wand eines Zimmers — von einer bestimmten Seite Sonnenlicht fällt, so erscheint uns diese Wand von allen Seiten, von denen wir sie betrachten, beleuchtet. Sie sendet also nach allen Richtungen des Raumes Licht aus: sie „zerstreut" das einfallende Licht nach allen Seiten. Diese Zerstreuung des Lichtes (verbunden mit der Absorption) ist der Grund dafür, daß wir überhaupt Körper sehen können, welche nicht selbst leuchten; Substanzen, die das Licht weder merklich zerstreuen noch absorbieren, wie die meisten Gase, sind für unser Auge unsichtbar. Würde man an Stelle des weißen Sonnenlichtes einfarbiges Licht, etwa grünes, auf die weiße Wand fallen lassen, so würde sie von allen Seiten betrachtet, grün erscheinen; die Farbe des gestreuten Lichtes stimmt mit der des einfallenden überein oder, physikalisch gesprochen: die Wellenlänge des Lichtes und somit auch die Schwingungszahl pro Zeiteinheit, die „Frequenz" bleibt beim Streuungsvorgang unverändert erhalten. Sowohl die Existenz einer Zerstreuung überhaupt als auch die Konstanz der Frequenz wird nach der Wellentheorie des Lichtes unmittelbar verständlich, denn nach ihr kommt die Streuung folgendermaßen zustande: In der Materie befinden sich schwingungsfähige elektrische Elementarladungen — die sogenannten „Dispersionselektronen" —, welche unter dem Einfluß der auftreffenden periodischen Lichterregungen in Mitschwingen geraten und ihrerseits als bewegte Ladungen Kugelwellen aussenden, so daß nunmehr nach allen Richtungen Licht von dem bestrahlten Körper ausgeht. Da das Mitschwingen der Elektronen im Takte der erregenden Welle erfolgt, ist die Zahl der pro Sekunde von den Elektronen ausgehenden Wellenberge gleich der Zahl der pro Sekunde auftreffenden: die Frequenz des gestreuten Lichtes ist gleich der des einfallenden. Aber nicht nur diese Eigenschaft des Streuungsvorganges vermag die Wellentheorie anschaulich zu deuten, sondern auch eine große Reihe wesentlich komplizierterer Tatsachen, welche sich darauf beziehen, daß der Streuungsvorgang unter Umständen bestimmte Regelmäßigkeiten annehmen kann. Wenn nämlich die streuenden Teilchen nicht ganz willkürlich angeordnet sind, sondern wenn bestimmte geometrische Beziehungen ihre gegenseitige Lage regeln, dann besitzen auch die von ihnen ausgehenden sekundären Kugelwellen bestimmte Phasendifferenzen, und es kommen Interferenzphänomene zustande, welche zur Folge haben, daß das zerstreute Licht in gewissen Richtungen besonders intensiv ist. So läßt sich z. B. zeigen, daß für alle Oberflächen, welche sehr glatt sind[1]), der größte Teil des einfallenden Lichtes nur in einer ganz bestimmten Richtung gestreut wird, und daß diese Richtung genau mit der nach dem empirischen Reflexionsgesetz geforderten übereinstimmt. Aber nicht nur dies, sondern sämtliche Erscheinungen, welche mit der Reflexion, der Brechung und der Beugung des Lichtes zusammenhängen, werden durch die obige einfache, wellentheoretische Vorstellung quantitativ verständlich, so daß man ihr jedenfalls einen richtigen Kern zugestehen und sie sicher als ein die Wirklichkeit sehr gut kopierendes Bild gelten lassen muß.

Dieselbe Vorstellung hat sich aber nicht nur für das Gebiet des sichtbaren Lichtes bewährt, sondern sie erweist sich auch gegenüber den viel kurzwelligeren Röntgenstrahlen als geeignet, die wichtigsten Erfahrungstatsachen verständlich zu machen. Die Erfahrung lehrt zunächst, daß auch Röntgenstrahlen von der Materie gestreut werden können. Während die Streuung des Lichtes durch feste Körper fast stets nur an der Oberfläche erfolgt, ist die Zerstreuung der Röntgenstrahlen ein Volumeffekt, denn die Absorption dieser Strahlen in der Materie ist so gering, daß auch die im Innern liegenden Teilchen von der einfallenden Welle erreicht werden, und daß sogar die von ihnen ausgehenden sekundären Wellen noch fast ungeschwächt wieder nach außen treten können. Die starke Streuung der Röntgenstrahlen — besonders der kurzwelligen — hat zur Folge, daß es bei Experimentaluntersuchungen keineswegs genügt, sich vor dem direkten, die Antikathode verlassenden Röntgenlicht zu schützen, sondern daß man auch die einmal und doppelt gestreute Strahlung noch sorgfältig abschirmen muß. Das einer Röntgenröhre entnommene Licht hat insofern Ähnlichkeit mit dem weißen Sonnenlicht, als es ebenfalls eine Mischung vieler einfarbiger Komponenten darstellt. Wenn vor dem Streuungsvorgang eine bestimmte spektrale Verteilung vorlag, welche man am einfachsten als „Härte"[2]) des Strahles mißt, so muß auch nach der Streuung dieselbe Verteilung sich wiederfinden, da ja nach den Forderungen der Wellen-

[1]) Unter „glatt" ist dabei zu verstehen, daß der Reflexionsvorgang in einer Schicht erfolgt, welche von der Größenordnung der verwendeten Wellenlänge ist.

[2]) Je schwerer eine Röntgenstrahlung absorbierbar ist, um so „härter" nennt man sie. Dieser Begriff hat natürlich nur dann für die Charakterisierung der Strahlung Wert, wenn sie sich nicht über einen großen Wellenlängenbereich erstreckt. Nur in diesem Falle — also für *annähernd* monochromatische Strahlung — trifft auch die Forderung der Wellentheorie zu, daß die in einer bestimmten Richtung abgehende gestreute Strahlung dieselbe Härte haben muß wie die ursprüngliche. Als weißes Licht ist also im folgenden stets ein ziemlich schmaler Frequenzbereich zu verstehen.

theorie eine Frequenzänderung durch den Streuungsvorgang nicht erfolgt. Diese Konsequenz schien auch im allgemeinen erfüllt zu sein: gestreute Röntgenstrahlung hatte annähernd dieselbe Härte wie ungestreute. Aufmerksamen Beobachtern (5) war es allerdings nicht entgangen, daß bei sehr harten Röntgenstrahlen und besonders bei den noch kurzwelligeren im übrigen wesensgleichen γ-Strahlen eine merkliche Änderung der Absorbierbarkeit durch den Streuungsprozeß eintritt: *die Strahlung ist nach der Streuung stärker absorbierbar (also weicher), als sie vorher war.*

Dies war der Stand der Dinge, als es COMPTON unternahm, diese qualitative Beobachtung aller unbestimmten Voraussetzungen zu entkleiden und einen quantitativen Versuch an ihre Stelle zu setzen, welcher eine tragfähige Grundlage für theoretische Überlegungen bilden konnte.

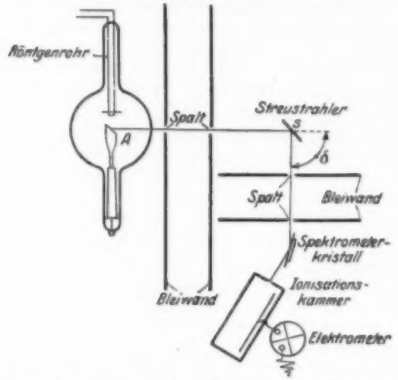


Fig. 1. Der Röntgenstrahl geht von der Antikathode *A* durch zwei Spalte zum Streustrahler *S* und dann wiederum durch zwei Spalte zum Spektrometerkrystall, von dem er in die Ionisationskammer gelangt.

Ein äußerst hinderlicher Umstand war es zunächst, daß man über die spektrale Verteilung des weißen Röntgenlichtes nur qualitativ orientiert war, und daß diese Verteilung außerdem von den Betriebsbedingungen des Röntgenrohres stark abhängig ist. Man muß daher für die Versuche völlig monochromatisches Röntgenlicht verwenden. COMPTON wählte eine Molybdänantikathode, deren Strahlung er durch Einschaltung geeigneter Filter möglichst zu homogenisieren suchte, so daß zunächst seine Primärstrahlung der Bedingung der konstanten spektralen Verteilung sehr gut, der der Einfarbigkeit wenigstens annähernd entsprach. Absorptionsversuche vor und nach der Streuung dieses Lichtes an Paraffin erweckten in ihm die Überzeugung, daß der vermutete Effekt wirklich vorhanden sei.

Um ihn gänzlich sicherzustellen, mußte man die Feststellung der Wellenlängenänderung noch genauer gestalten, als es durch die Absorptionsmethode möglich ist, was sich durch Spektroskopierung der gestreuten Strahlung mit Hilfe eines Krystalles nach der Laue-Braggschen Interferenzmethode erreichen läßt. Die hierbei zu überwindende experimentelle Schwierigkeit besteht darin, daß die gestreute Strahlung in einer bestimmten Richtung nur etwa ein Zehntausendstel der Primärintensität ausmacht, daß also das zu spektroskopierende Licht nur der zehntausendste Teil derjenigen Strahlung ist, welche man der Röhre direkt entnehmen kann. Man muß also ein äußerst empfindliches Elektrometer zur Messung der Ionisationsströme benutzen oder, im Falle photographischer Registrierung, sehr lange exponieren. In Fig. 1 ist die Versuchsanordnung schematisch dargestellt; die nähere Beschreibung befindet sich im Text unter der Figur.

Durch Verwendung einer Hochleistungsröhre als Lichtquelle und eines empfindlichen Quadrantelektrometers als Meßinstrument erhielt COMPTON

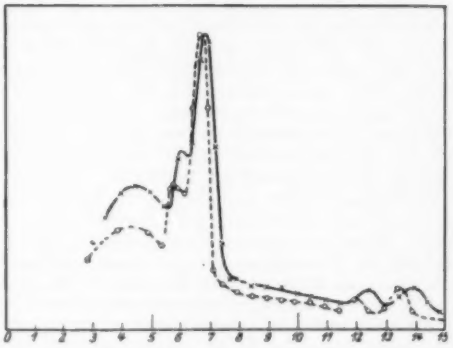


Fig. 2. Ein Teilstrich der Skala entspricht 0,075 A. Die punktierte Kurve stellt die Primärstrahlung dar, die ausgezogene Kurve ist die verschobene Linie, deren Wellenlänge also um etwa 0,02 A. größer ist.

die in Fig. 2 wiedergegebene Kurve, welcher man zunächst entnehmen kann, daß in der Streustrahlung die als Primärstrahl verwendete Wellenlänge (punktiert) vorhanden ist; neben dieser Spektrallinie zeigt sich aber eine zweite scharfe Linie, welche einer Wellenlänge entspricht, die bei diesem Versuch um 0,022 Angström größer war als die ursprüngliche.

Wenn man die Streustrahlung in einer bestimmten Richtung spektroskopisch auf ihre Zusammensetzung prüft, findet man also, daß sie aus zwei nahe beisammenliegenden scharfen Linien besteht (vgl. Fig. 3).

Mit diesem neuen Befund hat man nun an die oben erwähnte Anschauung von der Natur des Streuvorganges heranzutreten und eine Erklärung für die Existenz der scharfen verschobenen Linie zu fordern. Hierbei versagt das auf den Vorstellungen der Wellentheorie aufgebaute Bild. Die Anwesenheit anderer Frequenzen an sich könnte man ja noch dadurch verstehen, daß die

Dispersionselektronen nicht als ruhende Teilchen Sekundärwellen aussenden, sondern daß sie unter dem Lichtdruck der einfallenden Welle in Bewegung geraten und demgemäß nach dem Prinzip von DOPPLER in verschiedenen Richtungen verschiedene Frequenzen emittieren. Da aber die Elektronen von vornherein bestimmte regellos über alle Raumrichtungen verteilte Geschwindigkeiten besitzen, würde das Hinzutreten einer verhältnismäßig kleinen Komponente[1]) in der Primärstrahlrichtung nicht hinreichen, um zu erzielen, daß *alle* Elektronen in einer bestimmten Richtung genau dieselbe Frequenz aussenden: *die Schärfe* der verschobenen Linie widerspricht dieser Auffassung.

Es liegt also hier ein Prozeß vor, welcher in einer bloßen Richtungsänderung — Streuung — des Lichtes ohne Absorption oder Emission besteht und demgegenüber die wellentheoretischen Vorstellungen versagen.

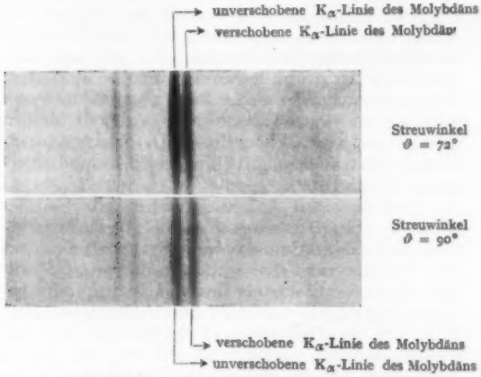


Fig. 3. Die Diagramme sind einer Arbeit von H. KALLMANN und dem Verf. entnommen[2]).

Die Quantentheorie des Comptoneffektes.

Wie erklärt sich der Comptoneffekt nach der Lichtquantentheorie? Ganz andere Vorstellungen von dem Vorgang der Zerstreuung des Lichtes liefert die Lichtquantentheorie, deren Begründung und Ausbau man EINSTEIN verdankt. Nach ihr besteht ein Lichtstrahl nicht aus einem ebenen Wellenzug, sondern auch vielen parallel mit Lichtgeschwindigkeit nebeneinander herfliegenden „Lichtquanten". Ein leuchtender Punkt emittiert nach allen Raumrichtungen im Mittel gleichviele Quanten, und der statistische Effekt dieser vielen voneinander unabhängigen Elementarprozesse ersetzt die kontinuierliche Kugelwelle der klassischen Theorie. Man sieht, daß die „Lichtquanten" an die Newtonschen Korpuskeln erinnern, aber es sind Korpuskeln besonderer Art. Eine fliegende Kugel besitzt Energie und Impuls, welche durch ihre Masse M und durch ihre Geschwindigkeit V_0 gegeben sind; im Falle irgendwelcher Beeinflussung des Fluges — etwa Bremsung oder Reflexion — verändern sich Energie und Impuls dadurch, daß die Größe V_0 variabel ist; M ist der Kugel eigentümlich und bleibt konstant[1]). Auch ein fliegendes Lichtquant von der Frequenz ν_0 besitzt Masse und Geschwindigkeit; letztere ist stets gleich der Vakuumlichtgeschwindigkeit c, während die erstere nach dem Satz von der Trägheit der Energie durch

$$\mu = \frac{h\nu_0}{c^2}$$

gegeben ist; die Energie des Lichtquants ist gleich $h\nu_0$, sein Impuls $\frac{h\nu_0}{c}$. Auch diese beiden Größen werden bei einer Beeinflussung des Lichtquants Veränderungen erleiden, doch können diese nicht

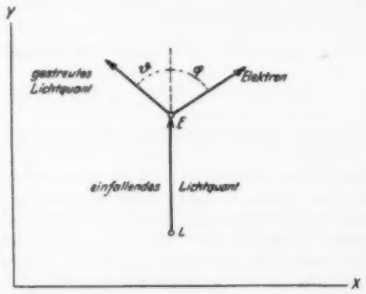


Fig. 4.

auf Kosten der Geschwindigkeit c erfolgen, da sie nach der Relativitätstheorie unveränderlich ist, sondern auf Kosten der Masse μ; diese wieder enthält als einzig variable Größe die Frequenz ν_0. Man kommt so zur folgenden Gegenüberstellung: Wenn eine fliegende Kugel Energie und Impuls abgibt — etwa an einer anderen Kugel reflektiert wird —, so ändert sich ihre *Geschwindigkeit*, bei einem Lichtquant ändert sich unter denselben Verhältnissen seine *Frequenz*.

Die Streuung des Lichtes durch die Materie hat man sich vom Standpunkt der Lichtquantentheorie als „Reflexion" der einfallenden Lichtquanten an den Elektronen der Materie vorzustellen; sehr viele Einzelvorgänge ergeben auch hier im Mittel kontinuierliche Streuung nach allen Seiten, doch ist dieser Vorgang wesentlich verbunden mit einer Frequenzänderung.

Bei der Berechnung dieser Frequenzänderung schematisieren wir also mit COMPTON und DEBYE

[1]) Diese Komponente in der Strahlrichtung kann wegen der häufigen Zusammenstöße nicht zu einer namhaften Größe anwachsen.

[2]) Die Naturwissenschaften; 13, 297. 1925.

[1]) Wenn wir von der nur bei sehr schnellen Bewegungen in Frage kommenden relativistischen Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit absehen.

den Vorgang der Streuung als „elastischen Zusammenstoß" zwischen Lichtquant und Elektron und wenden auf diesen Vorgang die Erhaltungssätze des Impulses und der Energie an. In Fig. 4 wird das streuende Elektron E von der Masse m und der Geschwindigkeit Null von dem Lichtquant L (Frequenz ν_0) getroffen, welches in der Y-Richtung mit der Geschwindigkeit c heranfliegt; nach dem Stoß habe das gestreute Quant (Frequenz ν) eine Richtung, welche den Winkel ϑ mit Y-Achse einschließt, während das getroffene Elektron sich mit der Geschwindigkeit v in der mit der Y-Achse den Winkel φ einschließenden Richtung bewegen möge. Der Satz von der Erhaltung der Energie fordert:

$$\underset{\text{Stoß}}{\underset{\text{Systems vor dem}}{\underset{\text{Gesamtenergie des}}{h\nu_0}}} = \underset{\text{Stoß}}{\underset{\text{Systems nach dem}}{\underset{\text{Gesamtenergie des}}{h\nu + \frac{m}{2}v^2}}} \quad \ldots \quad (1)$$

während der Satz von der Erhaltung des Impulses für die X- und Y-Komponente getrennt angeschrieben die Gleichungen ergibt:

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{h\nu}{c}\sin\vartheta + m v \sin\varphi \\ \underset{\text{vor dem Stoß}}{\underset{\text{Gesamtimpuls des Systems}}{\frac{h\nu_0}{c}}} &= \underset{\text{nach dem Stoß}}{\underset{\text{Gesamtimpuls des Systems}}{\frac{h\nu}{c}\cos\vartheta + m v\cos\varphi}} \end{aligned} \quad \ldots \quad (2)$$

Die Größen h, m und c sind universelle Konstante, die Größen ν_0 und ϑ führt man als bekannt in den Versuch ein; es sind die Frequenz des verwendeten Primärlichtes und die Richtung, in welcher man den gestreuten Strahl untersucht; somit bleiben 3 Unbekannte v, φ und ν, welche man aus den drei zur Verfügung stehenden Gleichungen berechnen kann, so daß der Vorgang durch die Erhaltungssätze eindeutig festgelegt ist.

Da es im folgenden hauptsächlich auf die Frequenz des gestreuten Lichtes ankommt, eliminieren wir aus den drei Gleichungen v und φ, welche die Geschwindigkeit des gestoßenen Elektrons nach Größe und Richtung angeben und erhalten für ν die Beziehung:

$$\nu = \nu_0 \frac{1}{1 + \frac{2h\nu_0}{mc^2}\sin^2\frac{\vartheta}{2}} \quad \ldots \quad (3)$$

Da in den Experimenten stets die Wellenlängen und nicht die Frequenzen gemessen werden, rechnet man noch mit Hilfe der Gleichung $\nu \cdot \lambda = c$ auf λ um und erhält für die Wellenlänge der unter dem Winkel ϑ abgehenden Streustrahlung:

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{2h}{mc}\sin^2\frac{\vartheta}{2} = \lambda_0 + 0{,}0486\sin^2\frac{\vartheta}{2}\,, \quad (4)$$

wobei λ_0 die ursprüngliche Wellenlänge ist.

Aus dieser Formel geht zunächst hervor, daß beim Streuvorgang unter einem bestimmten Winkel ϑ eine ganz bestimmte Wellenlänge λ den streuenden Körper verläßt, welche sich bei Spektroskopierung dieser Streustrahlung als scharfe verschobene Linie äußern muß, gerade wie der Versuch es fordert, und zwar muß die Differenz der Wellenlängen bei $\vartheta = 90°$ 0,0243 Å betragen, was der Fall ist. Ferner erkennt man aus der Formel (4), daß die Größe dieser Verschiebung vom Winkel ϑ in ganz bestimmter Weise abhängt; auch diese Konsequenz der Theorie wird — wie COMPTON zuerst gezeigt hat — von der Erfahrung bestätigt. Man kann dies z. B. bei Vergleich der Fig. 3a und 3b erkennen, wo 3a ein Spektrum darstellt, welches unter $\vartheta = 90°$ erhalten wurde, während 3b unter $\vartheta = 72°$ aufgenommen ist; die beiden Verschiebungen verhalten sich zueinander sehr angenähert wie

$$\sin^2 45° : \sin^2 36° = 1 : 0{,}706\,.$$

Die Lichtquantentheorie erklärt also die Existenz der scharfen verschobenen Linie quantitativ bezüglich ihrer Lage und der Abhängigkeit vom Streuwinkel.

Aber neben dieser verschobenen Linie ist in allen Versuchen stets auch die ursprüngliche Strahlung festgestellt worden. Wie soll man sich eine derartige, mit der Wellentheorie in bestem Einklang stehende Beobachtung erklären, wenn man gerade dieser Theorie ihre Gültigkeit für den Zerstreuungsprozeß abspricht? Die Lichtquantentheorie gibt auch darauf eine einfache und überzeugende Antwort.

In der obigen Ableitung haben wir bei Benutzung der Erhaltungssätze die Gesamtenergie und den Gesamtimpuls des „Systems" nur aus den Energien und den Impulsen des — „isoliert" gedachten — Elektrons und des Lichtquants berechnet; sie allein waren an dem Vorgang beteiligt. Nun sind die Elektronen in der Materie aber gar nicht „isoliert", sondern sie gehören den Atomverbänden an, in welchen sie durch bestimmte Kräfte festgehalten werden. Unsere Ableitung kann also nur für diejenigen Elektronen als geeignete Schematisierung der Wirklichkeit gelten, welche so schwach gebunden sind, daß sie bei der Reaktion mit dem Lichtquant allein an der Energie-Impulsbilanzbildung teilnehmen. In allen anderen Fällen wird an Stelle des eben betrachteten Elektrons das ganze Atom mit dem Lichtquant in Wechselwirkung treten und in Formel (4), ist an Stelle der Elektronenmasse m die tausendbis hunderttausendmal größere Atommasse M zu setzen. Dies würde eine Wellenlängenänderung bedingen, die ebensovielmal kleiner ist als der Comptoneffekt und sich der Beobachtung mit den heutigen spektroskopischen Mitteln völlig entzieht, so daß derartige Streuprozesse eine unverschobene Linie liefern müssen.

Die Lichtquantentheorie macht also alle Einzelheiten der experimentellen Beobachtung auf Grund einer Vorstellung verständlich, welche nicht etwa erst ad hoc geschaffen, sondern von EINSTEIN bereits 10 Jahre vorher zur Ableitung des Planckschen Strahlungsgesetzes verwendet worden ist.

Weitere Versuche über die gestreute Röntgenstrahlung.

Die Gleichung (4) fordert noch zwei andere bemerkenswerte Eigenschaften für die unter dem Winkel ϑ abgehende Strahlung: Erstens muß die Wellenlängenänderung, welche sie durch den Streuvorgang erfährt, unabhängig von dem verwendeten Streustrahler sein, was physikalisch darin begründet ist, daß in verschiedenen Substanzen immer „isolierte" Elektronen von derselben Masse m die Lichtquanten zerstreuen. Zweitens ist die Wellenlängenänderung auch von der primär eingestrahlten Wellenlänge λ_0 unabhängig.

Beide Forderungen liefern weitere Möglichkeiten, die Richtigkeit der Formel (4) und damit das Zutreffen der Quantenvorstellungen zu prüfen. Allerdings hat man dabei zu bedenken, daß gewisse Voraussetzungen bestehen, welche die Gleichung (4) explizit nicht mehr enthält und welche für das Vorhandensein des Effektes wesentlich sind. Dies ist vor allem die Annahme der Existenz wirklich „freier" Elektronen, das sind offenbar solche, deren Bindungsenergie klein ist gegen die Energiedifferenz zwischen einfallendem und gestreutem Lichtquant. Beachtet man dies als zusätzliche Bedingung, so erkennt man, daß hierdurch der Prüfung auf Frequenzabhängigkeit nach der langwelligen Seite hin eine Grenze gezogen ist und der Effekt z. B. bei sichtbarem Licht gar nicht mehr zu erwarten wäre. Im Gebiet der Röntgenstrahlen aber haben beide Forderungen bereits von verschiedenen Seiten eine experimentelle Prüfung erfahren, deren Ergebnis in Tabelle 1 zusammengestellt ist (6). Von oben nach unten sind die untersuchten Streustrahler nebst ihren Ordnungszahlen aufgezählt, während von links nach rechts die verwendeten Primärstrahlungen aufgetragen sind. In den Rubriken der Tabelle bedeutet:

Tabelle 1.

Element	Wo Kα $\lambda = 0{,}209$	Ag Kα $\lambda = 0{,}562$	Mo Kα $\lambda = 0{,}708$
Li 3	− *j*	− *p*	+ *p*
Be 4	·	+ *p*	·
B 5	− *j*	+ *p*	+ *p*
C 6	− *j*	+ *p*	+ *j*
	+ *p*		+ *p*
O 8	− *j*	·	+ *p*
Na 11	− *j*	·	·
Al 13	− *j*	·	+ *p*
Si 14	·	+ *p*	·
S 16	− *j*	·	·
Cl 17	− *j*	·	·
Cu 29	+(?) *j*	·	·
Zn 30	·	·	+ *p*
Ge 32	− *j*	·	·
Ag 47	+ *j*	·	+ *p*
W 74	− *p*	·	+ *p*
Pb 82	·	·	+ *p*

\+ die unverschobene Linie und die im *richtigen* Maß verschobene Linie wurde sicher festgestellt.

− Die unverschobene Linie wurde gefunden; die verschobene fehlt oder befindet sich an falscher Stelle.

· Bisher noch nicht untersuchte Kombinationen.

p photographische, *j* ionometrische } Aufnahme.

Man sieht, daß bei Molybdän-K-Strahlung sämtliche untersuchten Elemente den von der Lichtquantentheorie geforderten Effekt gaben, während er bei Wolfram-K-Strahlung bisher nur in einigen Fällen als sichergestellt gelten kann.

Insbesondere hat W. DUANE (6) eine Zeitlang[1]) die Auffassung vertreten, daß die Anwesenheit einer der ursprünglichen Wellenlänge benachbarten Linie in der Streustrahlung auch auf andere Weise erklärt werden könnte; er hat in seinen Versuchen auch häufig eine verschobene Intensität gefunden, die nicht an der von COMPTON vorausgesagten Stelle lag. Man kann diesen Effekt als „Bremsstrahlung der im Streustrahler ausgelösten Photoelektronen" bezeichnen. Durch das einfallende Licht werden nämlich in den Atomen des streuenden Körpers Photoelektronen erzeugt, deren Energie aus der Energie des auslösenden Lichtes durch Abzug der Abtrennungsarbeit erhalten wird, also etwas kleiner ist als die Lichtenergie $h\nu_0$ selbst. Diese Photoelektronen werden in den umliegenden Atomen abgebremst und erzeugen dabei ein kontinuierliches Röntgenspektrum, dessen Maximum der einfallenden Frequenz ν_0 nach der Seite größerer Wellenlängen hin benachbart liegt und so unter Umständen die Existenz des Comptoneffektes vortäuschen könnte. Diese „tertiäre" Strahlung ist auch tatsächlich in mehreren Fällen aufgefunden worden; sie stellt einen Effekt dar, der offenbar neben dem Comptonschen unter gewissen Umständen vorhanden ist, aber mit dem eigentlichen Streuungsvorgang direkt nichts zu tun hat.

Den sichersten Nachweis dafür, daß man es in einem bestimmten Fall mit der gemäß Gleichung (4) verschobenen Linie und nicht mit einem anderen, täuschenden Effekt zu tun hat, bildet stets die Anwesenheit einer *scharfen* Linie mit der *genau* stimmenden Wellenlängenänderung und besonders die Prüfung der *Winkelabhängigkeit* der Verschiebung, welche in deutlichster Weise das Walten des Impulssatzes offenbart.

Dieser Nachweis ist bereits in so vielen Fällen erbracht, daß an der Realität des Comptoneffektes an sich wohl nicht mehr gezweifelt werden kann.

Warum er in einzelnen Fällen nicht gefunden worden ist, bleibt heute noch unklar, und die Klärung dieser Frage ist wohl derjenige Punkt, von dem man bald weitere wichtige Aufschlüsse erwarten darf. Denn an die gewonnene Erkenntnis von der Erweiterung des Geltungsbereiches

[1]) In einer unlängst erschienenen Notiz (CLARK und W. DUANE, Proc. Nat. Soc. 11, 173) hat aber DUANE selbst seine Beobachtungen zum Teil als nicht zutreffend zurückgezogen.

der Lichtquantentheorie auf die Vorgänge der Zerstreuung schließen sich sofort tiefergehende Fragen: Unter welchen Umständen ist ein Elektron als „frei" anzusehen? Wodurch ist das Intensitätsverhältnis der verschobenen und unverschobenen Linie bedingt? Welches sind die Polarisationseigenschaften der „Comptonstrahlung"?

Literatur:

1. A. EINSTEIN, Ann. d. Physik **17**, 132. 1905; **20**, 199. 1906 u. Physikal. Zeitschr. **18**, 121. 1917.
2. A. H. COMPTON, Physikal. Rev. **21**, 483. 1923.
3. A. H. COMPTON, l. c. sowie Bull. Nat. Res. Council Nr. 20, S. 27. 1922.
4. P. DEBYE, Physikal. Zeitschr. **24**, 161. 1923.
5. A. H. COMPTON, Phil. Mag. **41**, 760. 1921; GRAY, Phil. Mag. **26**, 611. 1913 u. Frank. Inst. Journ. Nov. 1920, S. 643 u. FLORANCE, Phil. Mag. **27**, 225. 1914.
6. Die Tabelle 1 enthält das experimentelle Material folgender Arbeiten: A. H. COMPTON, Physikal. Rev. **21**, 483. 1923; A. H. COMPTON, Physikal. Rev. **22**, 715. 1923; P. A. ROSS, Physikal. Rev. **22**, 201. 1923; A. H. COMPTON, Physikal. Rev. **22**, 409. 1923; P. A. Ross, Physikal. Rev. **22**, 524. 1923; CLARK, STIFLER und DUANE, Physikal. Rev. **23**, 551. 1924; A. H. COMPTON und WOO, Physikal. Rev. **23**, 763. 1924; I. A. BECKER, Physikal. Rev. **23**, 763. 1924 u. **24**, 478. 1924; CLARK und DUANE, Proc. of the nat. acad. **9**, 413 u. 419. 1923; CLARK und DUANE, Proc. of the nat. acad. **10**, 41, 92, 148 u. 191. 1924; A. H. COMPTON und WOO, Proc. of the nat. acad. **10**, 271. 1924; ARMSTRONG, DUANE und STIFLER, Prov. of the nat. acad. **10**, 374. 1924; ALLISON, CLARK und DUANE, Proc. of the nat. acad. **10**, 379. 1924 u. DE BROGLIE, Cpt. rend. **179**, 11ff. 1924.

Zur chemischen Mechanik der Reaktionen fester Stoffe[1].

Von WILHELM BILTZ, Hannover.

Zur Erörterung steht die Frage, inwieweit mechanisch räumliche Änderungen fester Stoffe Folge oder Voraussetzung chemischer Reaktionen sind. Die Frage soll zunächst an dem am besten bekannten Beispiele der *Ammoniakate* geprüft werden.

1. Wird an ein krystallisiertes Salz gasförmiges Ammoniak angelagert, so wird bei der Entstehung des Ammoniakates die Bildungswärme Q frei:

$$[\text{Salz}] + (NH_3) = [\text{Ammoniakat}] + Q \text{ Cal.}$$

Zur Analyse des Wärmebetrages kann man sich den Vorgang in zwei Teile zerlegt denken: der erste besteht in der Erweiterung des Ionenabstandes im ursprünglichen Krystallgitter auf den Abstand, den die Ionen im Ammoniakat besitzen. Hierzu ist eine Arbeitsleistung gegen die Gitterenergie des Salzes (Aufweitungsarbeit, E Cal.) vonnöten. Der zweite Vorgang ist die Anlagerung von m Molekülen Ammoniak an die Kationen des geweiteten Gitters. Hierbei wird die Arbeit A' Cal. pro Mol. Salz geliefert. Die Differenz beider Beträge ist die beobachtete Reaktionswärme:

$$Q = A' - E. \tag{1}$$

Während E nur von der physikalischen Natur des gewählten Salzes abhängt, bestimmt A' einen von speziellen physikalischen Einflüssen seitens des Salzkrystalles unter Umständen bereits weitgehend befreiten spezifischen Arbeitsbetrag. In vollkommenerer Weise würde diese spezifische Affinität des Ammoniaks erst einem isolierten, also aus dem Gitterverbande herausgenommenen Kation gegenüber erscheinen. Aber wir müssen uns im folgenden auf die in A' gemessene Affinität beschränken.

Die Aufweitungsarbeit ist die Differenz zwischen der Gitterenergie des ursprünglichen Salzes, U_0 Cal. und der Gitterenergie des geweiteten Salzes, U_ϑ Cal., wobei nach Herrn BORNS Definition unter Gitterenergie die Aufweitungsarbeit auf einen unendlichen Ionenabstand verstanden wird:

$$E = U_0 - U_\vartheta. \tag{2}$$

Dieser bis hierher bereits 1923 vorliegende Ansatz (1) ist inzwischen von Herrn GRIMM und mir zur Einzelermittlung von E und A' aus vorliegenden Versuchsdaten benutzt worden, worüber an anderer Stelle ausführlicher berichtet wird (2). Hier handelt es sich vorzugsweise um einige Anwendungen und Folgerungen.

Aus der Gittertheorie der Herren BORN und LANDÉ ergibt sich für das ungedehnte Gitter der Ausdruck:

$$U_0 = \frac{a}{r_0}\left(1 - \frac{1}{n}\right). \tag{3}$$

Für das gedehnte Gitter leitete daraus Herr GRIMM weiter den Ausdruck:

$$U_\vartheta = \frac{a}{r}\left[1 - \frac{1}{n}\left(\frac{r_0}{r}\right)^{n-1}\right] \tag{4}$$

ab. r_0 ist der ursprüngliche, r der erweiterte Abstand entgegengesetzt geladener Ionen, a die der Coulombschen Anziehungskraft, n eine der Bornschen Abstoßungskraft entsprechende Konstante. In Fällen, in denen über a und die Absolutwerte der Ionenabstände nichts bekannt, wohl aber U_0 aus experimentellen Daten berechenbar und für n eine zulässige Annahme möglich ist, möchte ich für Näherungsrechnungen die Gleichung:

$$E \cong U_0\left[1 - \frac{1}{\sqrt[3]{D}\left(1 - \frac{1}{n}\right)}\right] \tag{5}$$

befürworten. Hierin ist D die Dehnung, als Quotient der Molekularvolumina der Ammoniakate und des ursprünglichen Salzes gegeben[1]). Diese

[1]) Erweiterter Abdruck eines am 20. Dezember 1924 auf der Versammlung südwestdeutscher Chemie-Dozenten in Stuttgart gehaltenen Vortrages.

[1]) Kombination von Gleichung (5) mit Gleichung (1) gibt eine Beziehung zwischen Reaktionswärme und Volumveränderung für die in Rede stehenden Reaktionen. Solche Beziehungen sind mehrfach u. a. von RICHARDS gesucht worden; die bisherigen empirischen Zuordnungen hatten aber kein eindeutiges Ergebnis.

Näherungsrechnung vernachlässigt im gedehnten Gitter die Abstoßungskraft, was um so eher zulässig ist, je weiter das Gitter gedehnt ist. Bei einer geringen Dehnung wird man sich der genaueren Rechnung zu bedienen haben. Für Überschlagsrechnungen ist die gekürzte Formel bisweilen von Nutzen, da sie nur Dichtemessungen, die Gitterenergie des ursprünglichen Salzes und eine zweckmäßige Wahl von n voraussetzt. Für viele Stoffe ist es tunlich, aus mechanischen oder thermischen Eigenschaften wenigstens relative Aussagen über die Gitterenergieen abzuleiten. Man kann dann die Reihenfolge des Reaktionsvermögens dieser Stoffe abschätzen.

Kennt man den Verlauf von E sowohl wie von A' in Abhängigkeit von der Dehnung bzw. von der Zahl der angelagerten Moleküle Ammoniak oder,

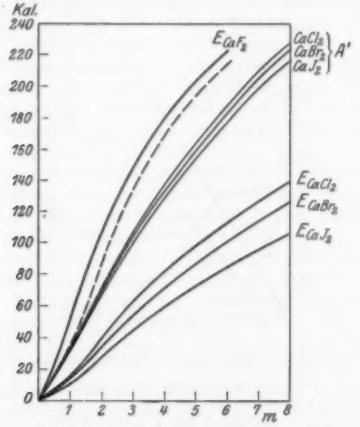


Fig. 1. System Calciumhalogenide/Ammoniak. Aufweitungs- und Anlagerungsarbeiten als Funktionen der Zahl der Ammoniakmoleküle.

allgemeiner gesprochen, der in Reaktion getretenen Gasmoleküle m, so ist für jeden Wert von m die Differenz $A' - E$ und damit die Reaktionswärme und weiterhin nach dem Theorem von Herrn NERNST die Affinität gegeben. Es ist dann möglich, auszusagen, ob die Stoffe überhaupt reagieren ($A' > E$; Q positiv), welche thermochemisch stabilen Verbindungen sie liefern können, und welches die Affinität dieser Einzelreaktionen ist.

2. Im folgenden möchte ich einige Typen des Verlaufs der E/m- und A'/m-Kurven beschreiben.

I. *A' ist größer als E.* In Fig. 1 sind die E/m-Kurven zunächst für Calciumchlorid, Bromid und Jodid gegeben. Bei der Berechnung dieser Kurven trifft es sich günstig, daß, wie ich vor kurzem fand, oft und bei normalen Ammoniakaten und ähnlichen Verbindungen stets, die Kopp'sche Volumenregel sehr nahe dann gilt, wenn man für Ammoniak und ähnliche Addenden die Molekularvolumina benutzt, die sie am absoluten Nullpunkte einnehmen (3). Es ist also eine Zeichnung der Kurven selbst dann möglich, wenn die Volumina der Additionsverbindungen nicht gemessen sind. Wie man sieht, besitzen sämtliche E-Kurven einen Wendepunkt unweit der Ordinatenachse. Die Ausdehnungsarbeit pro Mol ist also in unmittelbarer Nähe der ursprünglichen Lage der Ionen, unterstützt durch die Wirkung ihrer Abstoßungskraft, zunächst relativ klein; sie nimmt dann mit wachsender Dehnung zu und sinkt schließlich, je weiter die Dehnung fortschreitet, hier im wesentlichen nur noch durch das Coulombsche Gesetz bestimmt. Herr BORN (4) hat die Funktion: Potential/Dehnung, dargestellt; die hier benutzte: Arbeitsgröße/Konzentration kann selbstverständlich dieser gegenüber nichts grundsätzlich Neues aussagen, ist aber für chemische Zwecke bequemer.

Der Verlauf der A'-Kurven ist durch die gemessenen Bildungswärmen Q und durch E gegeben [vgl. Gleichung (1)]. Die Kurven sind, soweit die Zeichnung erkennen läßt, fast durchweg gegen die Konzentrationsachse konkav, d. h. mit stärkerer Absättigung des Kations sinkt die bei weiterer Aufnahme eines Mols Ammoniak gelieferte Energie. Ferner erkennt man, daß sämtliche A'-Kurven sehr nahe zusammenfallen. In der Tat handelt es sich hier um einen nahezu nur dem Calciumion spezifischen Vorgang; in dem gedehnten Gitter tritt der Einfluß des Anions, der bei unendlicher Aufweitung verschwindet, bereits weitgehend zurück. Die Anlagerungsarbeit eines Mols Ammoniak an das Calciumion des geweiteten Gitters liegt zwischen 28 und 32 Cal.; beim Strontium und Barium ist sie entsprechend den zunehmenden Ionenradien etwas kleiner. Vom Lithium bis Kalium nimmt A' pro Mol NH_3 von etwa 21 bis 15 Cal. ab. Die charakteristische Verschiedenheit der Calciumsalz-Ammoniakate in ihrer Beständigkeit: die Jodid-Ammoniakate sind thermostabiler als die Bromidammoniakate und diese beständiger als die Chlorid-Ammoniakate — ist, wie dies schon früher gezeigt wurde und hier im ganzen Verlauf zu übersehen ist, fast ausschließlich eine Folge der verschiedenen Aufweitungsarbeiten der ammoniakfreien Salze. Das ist keineswegs immer so. Bei den Silberhalogeniden variiert der Verlauf der E-Kurven viel weniger, wohl aber stark der der A'-Kurven. Die Affinität des Ammoniaks zum Silberion steht hier in starker Abhängigkeit von der Natur der Anionen, auch hier wohl, wie wir heute anzunehmen berechtigt sind, infolge ihrer starken Polarisation.

II. *A' ist kleiner als E.* Die oberste Kurve E_{CaF_2} in Fig. 1 stellt die Aufweitungsarbeit bei der Dehnung des Fluorcalcium-Gitters dar. Die Kurve liegt in ihrem ganzen Verlaufe oberhalb der A'-Kurven, selbst wenn man den unwahrscheinlichen Fall annähme, daß A' vom Chlorid zum Fluorid im selben Verhältnisse wächst wie vom Bromid zum Chlorid, welche Möglichkeit die gestrichelte Kurve andeutet. Q wird überall negativ. Es ist somit nicht möglich, ein Calcium-

fluorid-Ammoniakat aus dem Salze und gasförmigem Ammoniak zu synthetisieren. Besondere Versuche der Art scheiterten durchaus. Die spezifische Affinität des Ammoniaks zum Calciumion vermag nicht, die Ionen des Flußspates auseinanderzuschieben. Man sieht zugleich — am bequemsten aus der Näherungsformel —, daß für die Resistenz des Flußspates neben seiner hohen Gitterenergie sein kleines Molekularvolumen (24,6) bestimmend ist; denn dieses bedingt bei Anlagerung z. B. von 6 Mol NH_3[1]) eine Dehnung um rund das Sechsfache und erhöht damit den Betrag von E in Formel (5).

In ähnlicher Weise könnten wir, sofern die A'-Kurve für normale Ammoniakate ziemlich die gleiche bleibt, die Möglichkeit oder Unmöglichkeit der direkten Synthese von Ammoniakaten anderer Calciumsalze angeben, wenn deren Gitterenergie bekannt ist. Aber die Aufgabe würde vollständig unabhängig von besonderer chemischer Erfahrung lösbar, wenn man bei der Ermittlung der A'-Werte nur mit atomphysikalischen Werten allein aus-

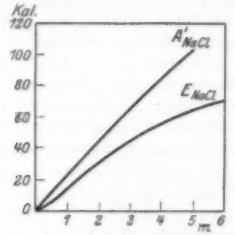


Fig. 2. System Natriumchlorid/Ammoniak. Aufweitungs- und Anlagerungsarbeiten als Funktionen der Zahl der Ammoniakmoleküle.

käme, wozu für Sonderfälle eine gewisse Aussicht besteht.

Das Verhalten der Calciumsalze gegen Wasser ist ganz ähnlich, wie das gegen Ammoniak. Die Kurvenschar der leicht hydratisierbaren und wasserlöslichen Calciumhalogenide wird durch die A'-Kurven von der E-Kurve des unlöslichen Flußspates getrennt. Es berührt sich nicht nur in diesem Punkte das hier Vorgetragene mit manchem aus den von Herrn FAJANS (6) bereits früher über die Löslichkeit entwickelten Anschauungen.

Ia. *Nur ein hohes Ammoniakat ist beständig.* Einen Sonderfall von I stellt Fig. 2 dar. Natriumchlorid bildet nur ein einziges, und zwar hohes Ammoniakat: das Pentammin, $NaCl \cdot 5\,NH_3$. Durch die Messung der Reaktionswärme ist ein Punkt der A'-Kurve festgelegt; der übrige Verlauf bis zum Nullpunkte kann mit großer Wahrscheinlichkeit nahezu linear gezeichnet werden. Man findet, daß ihr Abstand von der Aufweitungskurve für $m < 5$ stets Werte für Q/m bestimmt, die

[1]) Volumen dieser sechs Mole 180, wenn 20 das Molekularvolumen des Ammoniaks im Nullpunkte ist.

kleiner sind als $Q/5$. Die Bildungswärmen aller Ammoniakate, die weniger als 5 Mol NH_3 enthalten, sind somit pro Mol NH_3 kleiner als die Bildungswärme des Pentammins; solche Ammoniakate können also beim Abbaue des Pentammins nicht entstehen. Ebenso liegt es beim Bariumchloridoktammin.

Ib. *Nur ein niedriges Ammoniakat ist beständig.* Es ist nicht undenkbar, daß die A'-Kurve im weiteren Verlaufe stärker konkav wird als die E-Kurve und diese schneidet. Die Bildungswärmen der höheren Additionsverbindungen würden dann negativ. Ein solcher Fall ist bisher noch durch

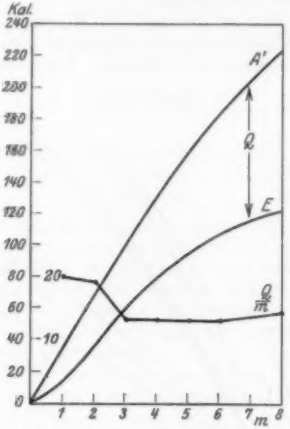


Fig. 3. Aufweitungs- und Anlagerungsarbeiten für den Fall, daß $\frac{Q}{m}$ ein Minimum zwischen den Abszissenwerten 3 bis 7 durchläuft.

kein Beispiel zu belegen. Auch dann würden nur die niedrigen Ammoniakate auftreten, wenn die A'-Kurve in ihrem weiteren Verlaufe sich der E-Kurve so weit nähert, daß die molekularen Bildungswärmen der höheren Ammoniakate kleiner als die Verdampfungswärme des flüssigen Ammoniaks werden.

Ic. *Nur die niedrigsten und die höchsten Ammoniakate sind beständig.* Wenn der Abstand $\frac{A'-E}{m}$ für mittlere m ein Minimum durchläuft oder für mittlere m praktisch unverändert bleibt, so sind nur die höchsten und die niedrigsten Ammoniakate thermisch beständig. Da die Messungen von Q wesentlich genauer sind als die Zahlenunterlagen der gittertheoretischen Rechnung und es hier auf kleine Differenzen großer Beträge ankommt, soll dieser Fall an dem schematischen Bilde, Fig. 3, erläutert werden. Außer dem Verlaufe von A' und E sind hier in vergrößertem Calorienmaßstabe die durch m dividierten Abstände dieser beiden Kurven gezeichnet. Hiernach würden im thermischen Abbaue des Oktammins

nur das Diammin und Monammin auftreten können; denn die Tensionen der mittleren Verbindungen würden ihren kleineren Bildungswärmen entsprechend höher, als die Tension der höchsten Verbindung. Man sieht, wie selbst stereochemisch sehr gut mögliche Verbindungen, z. B. die Tetrammine, aus energetischen Gründen im Abbau fehlen können. Solche Fälle sind häufig. So fehlen im System Calciumbromid/Ammoniak die Verbindungen mit 3, 4, 5 und 7 Molekülen NH_3. Da die Bildungswärmen Q/n des höchsten und des niedrigsten Ammoniakates sich aber nur um insgesamt 6 Cal. unterscheiden und es bei der Frage nach der Existenzfähigkeit der mittleren Ammoniakate auf Bruchteile von Calorien ankommen kann, reicht die Genauigkeit der Fig. 1 nicht aus, um das zu entscheiden. Auffälligeren Beispielen werden wir alsbald begegnen. Denn der Typus Ic ist auch in der Chemie anderer Stoffklassen nicht selten. Bisweilen sind die Verbindungen mittlerer Zusammensetzung auf Umwegen faßbar; sie erweisen sich dann als metastabil und zerfallen freiwillig in die Nachbarverbindungen; so geht Natriumsulfatheptahydrat von selbst in Dekahydrat und Anhydrid über.

Als letztes, freilich nur qualitativ zu behandelndes Beispiel für Ammoniakate seien hier die *Ammoniakverbindungen gediegener Metalle* genannt. Erste Voraussetzung für deren Bildung ist eine spezifische Affinität des Ammoniaks zum Metallion, d. h. leichte Ionisierbarkeit des Metallatoms. Zweite Voraussetzung ist geringe Gitterenergie des Metalls. Wir werden also erwarten, daß vorzugsweise unedle, weiche und niedrig siedende Metalle Ammoniak anzulagern bzw. sich in flüssigem Ammoniak zu lösen vermögen. Solche Metalle sind aber die Alkalimetalle und Erdalkalimetalle. Von den Erdalkalimetallen sind Hexammine in Substanz dargestellt und gemessen worden (7). Nach den Erfahrungen bei Salzen ist

$$A'_{Ca^{\cdot\cdot}} > A'_{Sr^{\cdot\cdot}} > A'_{Ba^{\cdot\cdot}}.$$

Da ferner, nach den Erscheinungen beim Verdampfen zu schließen, die Gitterenergieen dieser Metalle nicht sehr verschieden sind, ist zu verstehen, daß die Beständigkeit der Metallhexammine, wenn auch nicht stark, vom Calcium zum Barium fällt.

3. Wie früher bei der Frage nach dem Zusammenhange von Valenzzahl und Energiegröße[1]), so waren auch hier bei der analytischen Zerlegung dieser Energiegröße in eine mechanische und eine mehr chemische Komponente die Ammoniakate eigentlich nur Versuchskaninchen; und zwar sehr geeignete: denn in keinem anderen Falle läßt sich das Versuchsmaterial bequem derart häufen. Aber die gewonnene Erkenntnis könnte doch nur bedingtes Interesse beanspruchen, wenn es nicht gelänge, sie zu verallgemeinern.

Weitere Beispiele für den Zusammenhang von Aufweitungsarbeit und Reaktionsvermögen bieten die *Polyhalogenverbindungen*. In der folgenden Tabelle sind die Gitterenergieen der Alkalimetallhalogenide in Calorien pro Mol nach einer Zusammenstellung von Herrn GRIMM (8) wiedergegeben. Die geklammerten Zahlen bezeichnen die betreffenden Molekularvolumina in Kubikzentimetern.

Gitterenergieen und Molekularvolumina.

	Cl.		Br.		J.	
Li	205	(20,5)	191	(25,1)	176	(33,0)
Na	181	(27,0)	168,5	(32,1)	156	(40,9)
K	165	(37,5)	154	(43,3)	143	(53,2)
Rb	159,5	(43,2)	150	(49,4)	139	(59,8)
Cs	154	(42,3)	144,5	(48,0)	135	(57,6)

Die Beständigkeit der Polyhalogenide wächst erfahrungsgemäß mit dem Gewichte des Alkalimetalls und des Halogens. Im selben Sinne sinken, wie man sieht, die Gitterenergieen. Hiernach ist die Aufweitungsarbeit beim Lithiumchlorid die größte, beim Cäsiumjodid die kleinste; von jenem Salze sind in der Tat Polyhalogenverbindungen — es handelt sich in unserem Zusammenhange nur um *krystallisierte* — nicht bekannt, während Cäsiumjodid höchst beständige Derivate solcher Art gibt. Die Näherungsformel ließ übersehen, daß E mit wachsendem D, also ceteris paribus mit sinkendem Molekularvolumen des Ausgangsstoffes zunimmt; wir erkannten den Einfluß eines kleinen Molekularvolumens auf die Widerstandsfähigkeit des Flußspates. Die Tabelle zeigt, daß auch hinsichtlich dieses Einflusses die Aufweitungsarbeit und damit das Unvermögen, krystallisierte Polyhalogenide zu bilden, bei Lithiumchlorid am größten ist. Der auch sonst bestehende Zusammenhang zwischen Raumbeanspruchung und Vermögen, Additionsverbindungen einzugehen, ist früher den Autoren nicht entgangen; er blieb indessen rein empirisch.

4. Ähnlich, wie bei den Polyhalogeniden, liegt es bei den *Polysulfiden*. Als Herr WILKE-DÖRFURT (9) gemeinsam mit dem Verfasser die Polysulfidschmelzen der Alkalimetalle mit Hilfe der thermischen Analyse zu erkunden begann, wählte man dazu die Rubidium- und Cäsiumverbindungen. Einer weitgehenden Gleichheit begegnen wir auch bei den von französischen Autoren thermochemisch eingehend untersuchten *Polyoxyden* der Alkalimetalle. Wenngleich eine zahlenmäßige, gittertheoretische Behandlung dieses Themas noch nicht möglich ist, wird man kaum fehlgehen, wenn man auch die sehr bekannte Abstufung der Beständigkeit der *Superoxyde* in der Erdalkalimetallreihe, wo BaO_2 sehr viel beständiger als CaO_2 ist, in gleichem Sinne deutet. Ganz entsprechend ist die Bildung der *Carbonate* als einer Addition von CO_2 an das Anion der Erdalkalimetalloxyde zu beschreiben:

$$Ca^{\cdot\cdot} + O'' + CO_2 = Ca^{\cdot\cdot} + CO_3''.$$

Der Vorgang unterliegt daher ebenso der Beeinflussung durch die Gitterenergie der Oxyde

[1]) Literatur hierüber ist Z. f. anorg. u. allgem. Chem. 130, 93 (1923) zusammengestellt.

und durch ihre Dehnung. Man begegnet in Oxydreihen häufig dem Typus Ic, d. h. die mittleren Oxyde zerfallen freiwillig in die Nachbarstufen. Es ist bekannt, daß Hypochloritionen unter Selbstoxydation in Chlorid- und Chlorationen übergehen, und schon der alchimistischen Erfahrung war das Erscheinungsbild geläufig, wobei das den Manganaten zugrunde liegende Oxyd Mn_2O_6 von selbst in Mn_3O_4 und Mn_2O_7 übergeht. Es handelt sich hierbei nicht um krystallisierte Stoffe, und es muß daher einstweilen dahingestellt bleiben, ob die Ähnlichkeit eine mehr als äußerliche ist. Wohl aber konnte Herr LOTHAR WÖHLER (10), dem man so zahlreiche Aufklärungen über die Beständigkeit der Oxyde verdankt, an mehreren krystallisierten Oxyden nachweisen, daß sie unbeständige Mittelstufen darstellen. So setzt sich unter Wärmeabgabe 2 PtO in PtO_2 und Pt um.

5. Als Beispiel für Addenden mit kleinem A' prüften wir den *Schwefelwasserstoff*. Das Dipolmoment des Schwefelwasserstoffs ist klein; seine spezifische Affinität, soweit sie hierdurch bedingt ist, also im Vergleiche zum Wasser oder Ammoniak gering. Bei einem echten Salze mit einer infolge der elektrostatischen Anziehung der gegenpoligen Ionen großen Gitterenergie waren daher *Thiohydrate* kaum zu erwarten. Wohl aber hatte bereits FRIEDRICH WÖHLER ein Schwefelwasserstoffadditionsprodukt des Aluminiumchlorids beobachtet. Aluminiumchlorid ist aber ein sehr schlechter Leiter. Nach einer Untersuchung, die gemeinsam mit Herrn KEUNECKE ausgeführt wurde, erweisen sich in der Tat alle echten Salze als unfähig, Schwefelwasserstoff zu addieren, während Halogenide mit Molekülgitter, also niedrig siedende Isolatoren aus der vierten und fünften Gruppe des periodischen Systems, entweder faßbare Thiohydrate, z. B. $SnCl_4 \cdot 2\,H_2S$ lieferten oder sich zum mindesten in verflüssigtem Schwefelwasserstoff lösten. Man kann Schwefelwasserstoff in diesem Bereiche geradezu als Reagens auf Ionengitter und Molekülgitter betrachten und das in der Ungleichung

$$A'_{H_2S} > E_{Molekülgitter} < E_{Ionengitter}$$

zusammenfassen.

6. Es drängt sich die Frage auf, ob es Mittel gibt, *ein Gitter künstlich aufzuweiten*, so daß es zu einer sonst ausbleibenden Reaktion fähig wird. Das würde besagen, Typus II, $A' < E$, solle in Typus I, $A' > E$, übergehen. Wir können uns dazu einer Umänderung eines Gitters von großer Energie in ein solches geringer Energie bedienen, indem wir zunächst einen Stoff von großer spezifischer Affinität einlagern, wodurch das so erweiterte Gitter befähigt wird, nunmehr auch Addenden geringer spezifischer Affinität aufzunehmen. Oft wird es dabei nur auf die Überwindung der Gitterkräfte in nächster Nähe der normalen Lage ankommen. Denn, wie z. B. Fig. 1 in der Calciumfluoridkurve zeigt, verläuft bisweilen schon nach einer Dehnung um 1 Mol die E-Kurve konkav gegen die Konzentrationsachse; einer weiteren Dehnung sind also zunehmend geringere Widerstände entgegengesetzt. Man bedarf dann zur Aufweitung und Aktivierung eines Krystalls nur eines einzigen Mols stark affiner Substanz, gewissermaßen als Pionier für die folgenden. Ein solcher Schrittmacher vielseitigster und vortrefflichster Art ist bei seinem hohen Dipolmoment das *Wasser*.

So gelang es in zahlreichen Versuchen ebensowenig wie beim Flußspat bei anderen echten Salzen, z. B. Nickelfluorid, Ammoniak unmittelbar zu addieren. Sendet man aber in das Gitter des Nickelfluorids ein Molekül Wasser, so vermag der nunmehr erweiterte Krystall mit einer Energie von etwa 11 Calorien pro Mol 5 Moleküle Ammoniak aufzunehmen. Es entsteht das Monoaquo-pentamminnickelofluorid. Die Versuche, die Herr RAHLFS ausführte, verlaufen am einfachsten derart, daß man Fluoridhydrate etwa, wie im Soxlethschen Apparate, mit flüssigem Ammoniak extrahiert; das Wasser wird durch das verflüssigte Ammoniak ausgezogen und ersetzt, bis auf ein letztes Molekül, dessen Anwesenheit zur Spreizung der Salzionen unerläßlich erscheint. Aber auch abgesehen von diesen ad hoc beigebrachten Beispielen an Fluoriden werden sich zahlreiche ältere verwandte Beobachtungen hier einordnen lassen, nach denen gewisse Verbindungen „nur in krystallwasserhaltigem Zustande" faßbar sind; sie verändern sich mit dem Versuche, das Wasser zu entfernen, von Grund aus. So geht Hexamminchromichlorid-Monohydrat beim Entwässern in Chloropentamminchromichlorid über; ein Hexammin-Anhydrid ist nur vom Bromid und Jodid zu erhalten. Bisher hat man sich begnügt, z. B. bei Tetrachlorometalljodid-Hydraten dies damit zu beschreiben, daß man sagte (11): Komplexbildung im Anion kann sich nicht vollziehen, wenn nicht gleichzeitig am Kation eine solche eintritt, und man hat eine gewisse Symmetrie der räumlichen Anordnung als Ursache des Ganzen betrachtet. Bisweilen kann man durch eine Art Überlistung der Natur auch ohne Wassereinlagerung im Molekül nach der Theorie nicht zu erwartende, wasserfreie Verbindungen erhalten, wenn man in Lösungen isolierte komplexe Kationen (z. B. Hexamminkobaltiionen) mit Fluorionen ausfällt; aber das so erhaltene Hexamminkobaltifluorid ist gewiß kein Gleichgewichtsprodukt.

7. Die unter 6) beschriebene Verkleinerung von E durch eingelagertes Wasser und die dadurch vermehrte Reaktionsfähigkeit darf nicht mit der katalytischen Wirkung kleiner Wassermengen verwechselt werden. Denn erstens sind hier verhältnismäßig große Mengen Wassers nötig; zweitens nimmt das Wasser an der Reaktion teil, und drittens handelt es sich nicht um Geschwindigkeits-, sondern um Gleichgewichtsfragen. Immerhin wird unter Umständen das Wasser durch primäre Gitteraufweitung zur Vergrößerung auch der Reaktionsgeschwindigkeit beitragen können,

und man wird in vielen praktischen Fällen beide Einflüsse am Ergebnisse verantwortlich zu machen haben.

Von Beispielen, die aus der analytischen, mineralchemischen und kolloidchemischen Erfahrung stammen, seien zum Schluß noch einige erwähnt:

Erstens das *Erhärten gebrannten Gipses* (12). Hocherhitzter, bis zum Anhydrit entwässerter Gips vermag unmittelbar kein Wasser zu addieren; nur auf dem Umwege über die Lösung kann sich wiederum das Dihydrat bilden. Dagegen hydratisiert sich das Halbhydrat ohne weiteres wieder zum Gips zurück; das Gitter ist noch reaktionsfähig. Ebenso reaktionsfähig ist aber auch der durch nur gelindes Erwärmen zwar vollkommen entwässerte, aber nicht „totgebrannte" Gips. Dichtemessungen und Röntgenuntersuchungen aus der jüngsten Zeit beweisen nun, daß das Gitter eines so entwässerten Calciumsulfates sich von dem des Halbhydrates kaum unterscheidet; im Sinne unserer Theorie wird der Fortbestand seiner Reaktionsfähigkeit begreiflich. Der hochgebrannte Anhydrit dagegen erweist sich räumlich, röntgenographisch und nach seiner Härte in seiner Gitterstruktur als weitgehend verändert und verdichtet.

Zweitens die *chemische Angreifbarkeit der Silicate*. Hier wirkt das Wasser im wahrsten Sinne des Wortes als Gesteinsbohrer. Die von Natur aus wasserhaltigen und somit lockeren Silicate, die Zeolithe, in denen die Gitterweitung bis zu dem Grade erfolgt ist, daß das Wasser, räumlich kaum fixiert, einen ziemlich freien Spielraum im Gitter findet, sind ohne weiteres mit Säure aufschließbar, gelatinierbar; die typischen wasserfreien Urgesteinssilicate sind es nicht. Man darf hier wohl als Kriterium der Gitterenergie wiederum die Härte heranziehen, und es findet ein häufig vorliegender Zusammenhang, der mir schon früher aufgefallen war, seine Erklärung: eben die Silicate, die besonders hart sind, werden chemisch schwer zersetzt. Auch verwittern sie im natürlichen Aufschließungsprozesse im allgemeinen schwer; denn die Verwitterung ist gewiß in erster Linie eine Hydratation. Wir finden einen solchen Zusammenhang zwischen Härte und chemischer Widerstandsfähigkeit auch sonst, und es ist eine triviale analytische Tatsache, daß Korund und hochgeglühtes Eisenoxyd von Salzsäure fast unangreifbar sind, während sich die gleichen Oxyde, wenn sie nur wasserhaltig sind, darin leicht lösen. Andere Beispiele bieten die Legierungen (Edelstähle). Die Ursache liegt, wie vordem, auch hier wieder in der komplexen Natur der in Q gemessenen Reaktionsfähigkeit: dem von A' bestimmten, spezifisch chemischen Charakter und der in E gemessenen physikalischen Resistenz. Für Stoffe, die sich in A' nicht nennenswert unterscheiden, wird E, also im vorliegenden Zusammenhange die Härte, das Maßgebende, und mechanisch harte Stoffe erscheinen zugleich „chemisch hart".

Als letztes Beispiel wählen wir die *Quellungserscheinungen* (13). Man kann Fig. 1 ohne weiteres als für Hydrate gültig betrachten, wenn man die A'-Kurven etwas verlegt. Nun besitzen für echte Hydrate nur solche Ordinaten natürliche Bedeutung, die stöchiometrischen Werten von m entsprechen; ferner sind die Kurven durch den Wert von m begrenzt, der das im Höchstfalle mögliche Hydrat angibt. Falls Mischkrystallbildung fehlt, sind schließlich die echten Hydrate durch das Auftreten einer Phasendiskontinuität beim Übergange von einer Stufe zur Nachbarstufe gekennzeichnet. Bei zeolithisch aufgenommenem Wasser fehlt die Phasendiskontinuität, aber die stöchiometrische Begrenzung bleibt bestehen. Bei quellenden Stoffen fehlt auch diese. Es sollen im folgenden nur solche Quellungen berücksichtigt werden, die, wie Herr KATZ (14), der beste Kenner dieses Gebietes, es nennt, „ohne Komplikationen", d. h. vor allem ohne starke Capillaritätseinflüsse und ohne wesentliche Hysterese vor sich gehen. Der Unterschied von nichtquellbaren und quellbaren Stoffen wird dann einfach vergleichbar dem Unterschiede, wie etwa zwischen Flußspat und den übrigen Halogeniden des Calciums; quellbare Stoffe gehören dem Typus I, nichtquellbare dem Typus II an. Wenn man in erster Näherung von einer Variation des A' und n absieht, so bleibt für gleichen Quellungsgrad die Gitterenergie allein maßgebend. Dabei fällt sofort in die Augen, daß typisch quellbare Stoffe solche mit geringer Gitterenergie sind, nämlich Eiweißkörper, Polysaccharide, Lipoide und Gerbstoffe; es sind dies Stoffe mit Molekülgittern und hohem Molekularvolumen. Ionengitter mit ihren durch die elektrostatischen Kräfte bedingten hohen Gitterenergieen sind im allgemeinen nicht zur Quellung befähigt, es sei denn, daß sich, wie bei den Seifen, hohes Molekularvolumen und starker hydrolytischer Zerfall paart. Ähnlich, wie man künstlich durch Vorbehandlung mit Wasser gewisse Salze zur Ammoniakaufnahme vorbereiten kann, so kennt die Praxis den Begriff der „Vorquellung", d. h. der Lockerung des Molekülgitters durch einen Hilfsstoff, der besonders leicht imbibiert wird. In gleicher Weise läßt sich verstehen, daß manche anorganische Oxydhydrate quellbar sind, während den zugehörigen wasserfreien Oxyden jede Spur von Quellungsvermögen fehlt; denn es sind, wie schon in anderem Zusammenhange bemerkt, die Oxydhydrate weicher als die Oxyde. Unbegrenzte Quellung führt zur Bildung von Lösungen reversibler Kolloide. Irreversible Kolloide sind metastabile Gebilde. Die Erfahrung lehrt in Übereinstimmung mit der Theorie, daß sich reversible Kolloide von Stoffen mit Molekülgittern ableiten, während Stoffe, in deren Gittern elektrostatische, also starke Kräfte vorwalten, wie gediegene Metalle, schwerlösliche Salze, Sulfide, nur unbeständige Sole zu liefern vermögen, wenn man sie nicht mit Kolloiden der ersten Klasse gegen die Wirkung der Gitterkräfte schützt.

Hannover, Technische Hochschule: Institut für anorganische Chemie.

Literatur:

1. W. BILTZ, Zeitschr. f. anorg. u. allg. Chemie **130**, 133. 1923.
2. Die Abhandlung ist für die Zeitschr. f. anorg. u. allg. Chemie im Druck.
3. W. BILTZ, Zeitschr. f. anorg. u. allg. Chemie **130**, 116. 1923; W. BILTZ und E. BIRK, Zeitschr. f. anorg. u. allg. Chemie **134**, 125. 1924.
4. M. BORN, Der Aufbau der Materie. 2. Aufl. S. 65. Berlin, Julius Springer 1922. Vgl. A. EUCKEN, Grundriß der phys. Chem. S. 90. Leipzig, Akadem. Verlagsges. 1922.
5. Vgl. die Zusammenstellung Zeitschr. f. anorg. u. allg. Chemie **130**, 98. 1923; die Messungen selbst stammen von G. F. HÜTTIG.
6. K. FAJANS, Naturwissenschaften 1921, S. 729.
7. W. BILTZ und G. F. HÜTTIG, Zeitschr. f. anorg. u. allg. Chemie **114**, 174. 1920.
8. H. G. GRIMM, Zeitschr. f. phys. Chemie **102**, 113, 141 u. 504. 1922; ergänzt bei H. G. GRIMM und K. F. HERZFELD, Zeitschr. f. Phys. **19**, 141. 1923.
9. Zeitschr. f. anorg. Chemie **50**, 67. 1906.
10. Zeitschr. f. Elektrochemie **15**, 129. 1909 u. **27**, 406. 1921.
11. F. EPHRAIM, Lehrb. d. anorg. Chemie 1922, z. B. S. 184.
12. W. BILTZ, Zeitschr. f. anorg. u. allg. Chemie **143**, 231. 1925.
13. Eine etwas ausführlichere Schilderung zur Theorie der Quellungserscheinungen wird in der Kolloid-Zeitschrift abgedruckt werden.
14. Vgl. J. R. KATZ, Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften **3**, 316. 1924.

Zur naturwissenschaftlichen Erforschung des Denkens.

Von KARL GERHARDS, Aachen.

(Schluß.)

Wir wollen nun schließlich zur Illustration der SELZschen Grundansicht noch andeuten, wie sich auch die zu Anfang erwähnten Schimpansenversuche KÖHLERS[1]) im Sinne von SELZ interpretieren lassen, und zwar wählen wir als Beispiel zwei sachlich zusammenhängende Fälle aus der *Entwicklung des Stockgebrauchs*.

1. Dem Schimpansenweibchen Nueva wird ein kleiner Stock in seinen Käfig gegeben; es kratzt damit ein wenig auf dem Boden, schiebt so ein paar Bananenschalen auf einen Haufen und läßt dann den Stock achtlos fallen, etwa $^3/_4$ m vom Käfiggitter entfernt. Nach 10 Minuten werden draußen vor dem Gitter einige Bananen (die Nueva gern frißt) außer Greifweite auf den Boden gelegt. Die Früchte erblickend, versucht Nueva zunächst auf gewohnte Weise mit der Hand danach zu langen, indem sie den Arm durchs Gitter streckt; sie läßt aber von diesem vergeblichen Bemühen bald ab, wendet sich klagend und bittend zum Beobachter und wirft sich schließlich verzweifelt auf den Rücken. Dann, etwa 7 Minuten nach dem Niederlegen der Früchte, fällt das Auge des immer noch klagenden Tieres auf den Stock. Nueva verstummt, ergreift den Stock, führt ihn durchs Gitter hinaus und schiebt damit, etwas ungeschickt, die Früchte heran. Nach einer Stunde wird der Versuch wiederholt; es vergeht viel weniger Zeit, bis das Tier zum Stock greift; vom dritten Versuch ab wird der Stock stets sofort benutzt, und nach wenigen Wiederholungen ist auch die volle Hantiergeschicklichkeit erreicht. Ein weniger kluges Tier bemüht sich trotz seines Mißerfolges über eine halbe Stunde lang immer wieder, das Ziel unmittelbar mit der Hand zu greifen; erst dann gibt es dies Verfahren auf, und schließlich gelingt auch ihm die richtige Lösung. Wesentlich für das anfängliche Zustandekommen der Lösung ist allgemein, daß der Stock mit dem Ziel zusammen im Gesichtsfeld der Tiere erscheint. Andererseits gebrauchen die Tiere bald darauf auch sonstige irgendwie handliche und bewegliche Dinge zum gleichen Zweck; Nueva z. B. probiert, als ihr 2 Tage später vor dem Versuch der Stock entzogen wird, sofort mit Lappen, Strohhalmen und schließlich mit einer draußen vor dem Gitter stehenden Wasserschale, die Früchte heranzuziehen bzw. zu schlagen, und manchmal gelingt ihr das auch.

[1]) Vgl. Anm. 1, für das folgende insbesondere a. a. O. S. 22ff., 88ff.

Wir wollen nun versuchen, diese Aufgabelösung von der Selzschen Grundansicht aus zu deuten, indem wir uns überlegen, welche speziellen Abstraktions- und Kombinationsleistungen etwa genügen würden, um im Zusammenwirken mit der Wahrnehmung eine solche Lösung zustande zu bringen. Charakteristisch für diese Lösung erscheint vor allem, daß das Tier seine anfänglichen Bemühungen, auf gewohnte Weise zum Ziel zu gelangen, *sobald aufgibt*, als sie erfolglos bleiben; daß es dann seine Absicht sachgemäß mit Hilfe des vorher nur spielend benutzten Stockes verwirklicht, *sobald* sein Blick darauf fällt, und daß es schließlich dieses bisher (wie wir annehmen) *noch nicht geübte* Verfahren fortan in sachgemäßer Spezialisierung auf *alle* Situationen anwendet, die der vorhin bewältigten Situation in gewisser Hinsicht analog sind. (SELZ spricht in solchen Fällen von einer *„präzisen generellen Zuordnung"* zwischen dem neuen Verfahren und den entsprechenden Aufgabesituationen.) Zur Erklärung dieser Leistungen können wir zunächst annehmen, daß Nueva schon in früheren Erfahrungen ein gewisses Beziehungsschema der Zielerreichung sich erworben hat, das verhältnismäßig allgemein ist[1]), und daß dieses Schema auch jetzt, von der gegenwärtigen Wahrnehmungssituation teilweise konkretisiert, in Wirksamkeit tritt. Damit können wir zunächst das rasche Ablassen des Tieres von der gewohnten Greifbemühung in ganz analoger Weise erklären, wie bei den Selzschen Versuchen das rasche Verwerfen einer unzureichenden Lösung: es tritt nicht nur *faktisch* ein Widerstreit des Wahrnehmungsverlaufs

[1]) Z. B. weiß Nueva praktisch, was sie zu tun hat, wenn die Frucht in Greifweite liegt, wenn sie weiter entfernt liegt, aber frei zugänglich oder wenigstens auf räumlichen Umwegen zu erreichen ist, wenn sie auf einem Baum hängt, usw. In erster Näherung können wir uns das Schema Nuevas als aus zwei (nicht bloß additiv) hintereinandergeschalteten Beziehungen bestehend denken: die erste verbindet die Ausgangssituation des Erblickens und noch nicht Habens der Frucht mit einem Verlauf von der Art, daß er (nach bisheriger Erfahrung) aus einer solchen Ausgangssituation heraus zur Erlangung der Frucht hinführt; die zweite Beziehung leitet von diesem Verlauf in die Endsituation des Habens der Frucht hinein. Wir haben also mit anderen Worten ein *primitives Zweck-Mittel-Schema.*

zur Antezipation der Zielerlangung ein, sondern dieser Widerstreit, dieses „Nicht-Passen" wird auch *irgendwie positiv abstrahiert*. (In menschlicher Redeweise lautet diese Abstraktion etwa: „*So* geht es *nicht*".) Um aber weiter zu verstehen, wie Nueva die nachherige Lösung zustande bringen kann, müssen wir annehmen, daß Nueva aus ihrem ersten Mißerfolg noch etwas mehr lernt: daß das „Nicht-Passen" nicht bloß im allgemeinen, sondern (wenigstens einigermaßen) auch *in seiner gegenwärtig-tatsächlichen Eigenart* zur Abstraktion gelangt. Diese Eigenart wird uns deutlich, wenn wir beachten, wie der erste Mißerfolg Nuevas zustande kommt. Das Tier streckt Arm und Hand durchs Gitter hinaus auf das begehrte Ziel zu, immer unter Leitung und Kontrolle der Augen, die nicht etwa bloß starr das Ziel fixieren, sondern die Annäherung der Hand *von vornherein aktiv mitgestalten*. Dabei ist insbesondere maßgebend die (im optischen Felde konkret markierte) *Distanz* zwischen Hand und Ziel, die beim Hinlangen nach dem Ziel ausgefüllt zu werden beginnt. Gerade in dem unausgefüllt bleibenden Rest dieser Distanz konkretisiert sich nun der Mißerfolg des Tieres, der Widerstreit zwischen seiner schematischen Antezipation und dem schließlichen Verlauf seiner Gesamtwahrnehmung. Denn soweit dieser Verlauf wirklich zur Antezipation „paßt", *endet* er ja gewissermaßen in der ausgestreckten Hand; das antezipierende Schema aber, soweit es *nicht* voll erfüllt ist, endet gleichsam in jener optisch markierten Restdistanz; und der Mißerfolg, der Widerstreit *besteht eben* in dem aktuellen Beziehungsfall, der Arm und Hand des Tieres mit jener Restdistanz verbindet — nämlich darin, daß die Hand jene Distanz nicht ausfüllen, sich nicht in sie hinein verlängern kann: *aller Widerstreit würde aufgehoben, alles würde „passen", wenn bei sonst unveränderter Situation eine Verlängerung der Hand zustande käme.* — Nehmen wir also an, daß diese Eigenart des Widerstreites auch nur einigermaßen zur Abstraktion gelangt, so ist damit das antezipierende Schema, soweit es sich auf den gegenwärtigen Fall bezieht, schon auf die Handverlängerung hin *umspezialisiert* (sprachlich ausgedrückt etwa: „Wenn Hand verlängert wird, geht es doch"). In dieses Schema „paßt" nun offenbar die vorher bereits spielend vollzogene Handverlängerung mit dem Stock, und sie wird namentlich dann leicht „hineinspringen", wenn der Stock zugleich mit dem Ziel — dem einen Ende der Restdistanz, dem Zentrum der Antezipation — im Sehfeld erscheint. Auch die Schnelligkeit, mit der nunmehr die „generelle Zuordnung" des neuen Verfahrens zu allen entsprechenden Aufgabesituationen zum Abschluß gelangt, ist nach unseren Annahmen ohne weiteres verständlich.

2. Der Schimpanse Sultan, der den Stockgebrauch im vorher beschriebenen Sinne bereits beherrscht, erhält zwei Rohrstöcke, von denen der eine, dünnere in den anderen hineingesteckt werden kann; mit dem so hergestellten Doppelstock ist das Ziel (wieder eine draußen vor dem Gitter liegende Frucht) gut erreichbar, mit einem einzelnen der beiden Stöcke aber gerade nicht mehr. Infolgedessen gibt sich Sultan zuerst große Mühe, mit dem einen oder dem anderen Stock ans Ziel zu gelangen; als dies nicht geht, macht er vorerst einen „Fehler", indem er aus dem Hintergrunde des Käfigs eine Kiste vorn ans Gitter zerrt; er schiebt sie aber dann gleich wieder fort. [Sultan hat schon früher mit einer Kiste hantieren gelernt: er weiß nicht nur bei hochgehängtem Ziel eine Kiste heranzuschleppen und als Schemel zu benutzen, sondern auch eine Kiste aus dem Weg zu räumen, die innen am Gitter als Hindernis vor dem (draußen liegenden) Ziel steht.] Gleich danach aber schlägt das Tier ein *neues* Verfahren ein. Das eine Rohr wird weit hinausgelegt und dann mit dem (an seinem hinteren Ende genau angesetzten) anderen Rohr vorsichtig schiebend weiter dirigiert, bis es mit seinem vorderen Ende an das Ziel stößt und es ein wenig vom Platz bewegt. Dies Verfahren wird zunächst mit sichtlicher Befriedigung öfter wiederholt (den hinausgeschobenen Stock erhält das Tier immer wieder zurück), und Sultan kommt darüber zunächst auch nicht hinaus, obgleich man als Mensch meinen könnte, gerade dabei müßte sich schon die Möglichkeit aufdrängen, das eine Rohr ins andere hineinzustecken. Auch als KÖHLER, zur Hilfe für das Tier, vor dessen Augen den Zeigefinger in die Öffnung des einen Rohres hineinführt, bleibt Sultan bei seinem Verfahren, läßt aber schließlich von seinen Bemühungen überhaupt ab, nachdem sie sich im ganzen über eine Stunde hingezogen haben. Erst nach einer gewissen Zeit nimmt er die beiden Rohre wieder auf und beginnt nun, vom Gitter halb abgewendet, gleichgültig mit ihnen zu spielen; er hat in jeder Hand ein Rohr, und nach seiner Gewohnheit, in Löchern herumzustochern, steckt er das dünne Rohr ein wenig in die Mündung des dickeren. Da aber springt er auch schon zum Gitter, beginnt mit dem nunmehrigen Doppelstock die Frucht heranzuholen, und setzt, als ihm dabei das eine Rohr abfällt, es sofort richtig wieder mit dem anderen zusammen. Und nun holt er, *ohne* zunächst zu fressen, nicht nur alle jetzt erreichbaren Früchte in den Käfig, sondern auch noch andere ganz gleichgültige Dinge, indem er jedesmal, wenn nötig, die beiden Rohre wieder zielsicher ineinander steckt; als am folgenden Tage der Versuch wiederholt wird, geht er in wenigen Augenblicken von der zuerst probierten Stockkombination zur richtigen über, die er fortan endgültig beibehält; und als nach 10 Tagen das Ziel noch weiter hinausgelegt wird und Sultan *drei* Rohre erhält, setzt er daraus schließlich, nach sachgemäßem Probieren mit Doppelstöcken, einen *dreifachen* Stock zusammen.

Bei diesem Versuch interessiert uns zunächst der Fehler mit der Kiste. Nehmen wir an, daß Sultan von seinen vorherigen heftigen Bemühungen noch etwas „außer sich" ist, so kann, wie wir wissen, im Sinne von SELZ eine *Teilwirksamkeit* der Aufgabe eintreten, d. h. es kann so etwas wie eine allgemeine Antezipation übrig bleiben, die auf das geht, was (nach bisheriger Erfahrung) *überhaupt* zu einem derartigen Ziel führt. Dieser Antezipation entspricht es nun durchaus, daß sämtliche „Mittel" durchprobiert werden, die überhaupt bekannt und verfügbar sind. Als aber Sultan mit der Kiste vorn zum Gitter gelangt, spezialisiert sich angesichts der draußen liegenden Frucht die Antezipation sofort wieder, und die Kiste wird nunmehr als „Hindernis" weggeschoben. Um die nun folgende Leistung Sultans, die *erstmalige Längenkombination beider Stöcke* zur Zielerreichung, im Sinne von SELZ zu interpretieren, können wir wiederum auf die Eigenart des ersten Mißerfolges zurückgehen. Zunächst ist bei Sultan die schematische Antezipation der Zielerreichung in gewohnter Weise spezialisiert, nämlich auf die Verwendung eines Einzelstockes, und dies entspricht auch vorerst durchaus der Wahrnehmungssituation, da die kritische Distanz nur um ein weniges zu groß ist. Das Tier arbeitet nun erst mit dem einen Stock, und dieser langt nicht; dann hört es mit dem einen Stock auf und beginnt mit dem anderen, und auch dieser langt nicht, und dieser Wechsel wiederholt sich mehrmals: immer bleibt eine (wenn auch nur geringe) unausgefüllte Restdistanz, während zugleich der andere Stock „auch noch da" ist. Daß es auf die Abstraktion dieser *zweiten* Restdistanz ankommt, sieht man deutlich an dem Verhalten anderer, weniger

intelligenter Tiere: auch sie verwenden, wenn ein Stock zu kurz ist, zwei Stöcke zusammen, aber so, daß sie sie *längsseit* aufeinanderlegen und beide mit der Hand umfassen. Die *ursprüngliche* Restdistanz (zwischen Hand und Ziel) zieht hier also einfach *kollektivierend* den weiteren Stock in sich hinein. Hinzu aber kommt noch, daß die Tiere, bei denen dies beobachtet wurde, im Gebrauch des Einzelstockes noch weniger geübt waren, während Sultan längst gewohnt ist, mit einem Stock allerlei Gegenstände auf dem Boden herumzuschieben. Diese Gewohnheit zusammen mit der Abstraktion der zweiten Restdistanz ergibt im Sinne von SELZ unmittelbar Sultans neues Verfahren. Denkbar wäre aber auch der Fall, daß der Einzelstock bisher nur ganz zufällig zum Fortschieben *anderer* als eßbarer Dinge verwendet wurde; dann läge in seiner methodischen Verwendung zum Fortschieben eines „weiteren" *Stockes* eine wichtige Verallgemeinerung seines Gebrauches.

Mit diesem neuen Verfahren kommt nun Sultan in der Verwirklichung seiner Antezipation einen großen Schritt weiter: er kann jetzt nicht nur die Gesamtdistanz zum Ziel ausfüllen, sondern mit dieser Ausfüllung auch das Ziel von der Stelle bewegen. Daher ist es erklärlich, daß er sein Verfahren zunächst mit besonderer Befriedigung öfter wiederholt. Aber im Vergleich zur Antezipation ist es schließlich doch nur ein halber Erfolg, eine Ersatzbefriedigung; denn Sultans zwei Stöcke lassen sich zwar in der Richtung aufs Ziel zu immer wieder schön zusammen verwenden, aber in der Gegenrichtung gehen sie ebenso unfehlbar wieder auseinander, so daß ein *Widerstreit zum antezipierten Heranholen des Ziels* entsteht. Dieser Widerstreit ist jenem analog, den wir bei Nueva zwischen dem antezipierten Ergreifen des Zieles und der unausgefüllten Restdistanz von der Hand zum Ziel angenommen hatten; er ist insbesondere wiederum *optisch konkretisiert*. Wir können daher wie vorhin bei Nueva annehmen, daß es schließlich irgendwie zur *Abstraktion dieses Widerstreites* kommt, daß also Sultan, menschlich gesprochen, ein Bedürfnis nach dem „Zusammenbleiben" der beiden Stöcke empfindet. Daß aber das Hineinstecken des einen Stockes in den anderen zu jenem Zusammenbleiben hinführt — dies kann dem Tier aus seinem gegenwärtigen optischen Verlauf *allein* nicht aufgehen, und was das gewohnte Herumstochern in Öffnungen betrifft, so müssen wir eben annehmen, daß dabei der jetzt antezipierte *Erfolg* (nämlich das Zusammenbleiben des Stockes mit einem ihn verlängernden anderen Ding) noch nicht oft oder nicht prägnant genug aufgetreten ist. Analog verhält es sich mit der von KÖHLER gegebenen Hilfe: auch sie kann nicht ohne weiteres in Sultans gegenwärtige Antezipation hineingelangen, denn gerade das, was in diese Antezipation bereits „passen" würde (das Zusammenbleiben von Stock und Zeigefinger auch bei ausgiebigeren Bewegungen) bekommt Sultan ja nicht zu sehen. Vielleicht gewinnt auch die Abstraktion des Widerstreites bei Sultan erst *nachher*, als er zur Ruhe gekommen ist, ihre höchste Prägnanz: jedenfalls genügt es nun, daß das antezipierte Zusammenbleiben der beiden Stöcke nur eben auftritt, um Sultan sofort zur Wiederaufnahme seiner Operationen zu veranlassen, und als ihm nunmehr der eine Stock abfällt, weiß er, was er zu tun hat, um den „Schaden" wieder zu beseitigen. Damit ist *spätestens* die Abstraktion des neuen Gesamtverfahrens, die Umspezialisierung des Schemas vollzogen: die Leistung wird nun sozusagen nur noch um ihrer selbst willen so oft als möglich wiederholt, und schon im nächsten Versuch vollendet sich die präzise generelle Zuordnung zur entsprechenden Aufgabesituation.

Diese beiden Beispiele müssen hier genügen, um anzudeuten, wie man durch geeignete Spezialisierung des SELZschen Ansatzes das typisch „Intelligente" in den Aufgabelösungen der Schimpansen — ihr sachgemäßes Probieren, ihr rasches Lernen aus dem Mißerfolg, ihre geschickte Ausnutzung des Zufalls — in ganz unvergleichlich besserer Weise psychologisch zu erfassen vermag, als es jemals einer bloßen Assoziationspsychologie möglich gewesen wäre[1]). Das gleiche gilt mutatis mutandis von den Leistungen des menschlichen Denkens zumal in Technik und Erfahrungswissenschaft: jede Hypothese der Naturforschung z. B. stellt sich psychologisch als ein bestimmtes Ganzes von schematischen Antezipationen dar, das in der mannigfachsten Weise vorstellungsmäßig symbolisiert und gestützt sein kann, und die fortschreitende gegenseitige Anpassung von Antezipationen und Wahrnehmungsverlauf, die uns beim Naturforscher in so einzigartiger Vollendung entgegentritt — sie hat nichtsdestoweniger eine unverkennbare Analogie zu den eben analysierten Schimpansenleistungen, die gleichsam *elementare Miniaturmodelle* der Menschenleistungen sind. Andererseits kennen wir den Gesamtverlauf solcher Menschenleistungen auch rein deskriptiv bisher nur ganz obenhin: was uns die Entwicklungsgeschichte der Wissenschaft und Technik überliefert, ist durchweg zu vereinzelt oder zu unbestimmt, als daß es sich psychologisch verwerten ließe. Vielleicht aber kommt doch noch einmal die Zeit, wo die wissenschaftliche Psychologie dem Praktiker des produktiven Denkens, dem Entdecker und Erfinder, nicht mehr bloß eine mehr oder weniger achtungsvolle Langweile abnötigt, sondern ihn unmittelbar für ihre Ziele zu interessieren und zur Mitarbeit zu gewinnen weiß: wo insbesondere der Naturforscher, sobald er mit einer Entdeckung verhältnismäßig im reinen ist, zusammen mit dem Psychologen den Weg rückschauend durchmustert, den er dabei zurückgelegt hat, und auf die eingehenden Fragen des Psychologen ebenso eingehende Antwort gibt. Welche Aufschlüsse sich aus solchen Antworten ergeben könnten, wenn der Psycholog erst einmal richtig zu fragen verstände — davon gibt schon das, was die Meister der Naturforschung bisher gelegentlich und nebenbei über ihre Entdeckungen berichtet haben, einen packenden Eindruck. Man lese etwa in der Einleitung zu den

[1]) Für weitere Beispiele vgl. man im zweiten Bande von SELZ den zweiten Paragraphen des letzten Abschnittes („Parallelen zwischen den Intelligenzleistungen des Menschen und des Anthropoiden"), dessen Einzelausführungen man natürlich nicht immer zu billigen braucht. Jedenfalls sieht man schon aus den zwei Beispielen oben im Text, zu welch bestimmten experimentell entscheidbaren Fragestellungen bzw. Variationen der Selzsche Ansatz jeweils Veranlassung gibt. Die Hauptschwierigkeit in der ganzen Sache ist natürlich, daß man nicht von vornherein weiß, wie es mit der Wahrnehmung und deren reproduktiver Ergänzung bei den Affen steht. Bei den Kleinkindern besteht übrigens die gleiche Schwierigkeit.

„Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft" nach, wie HERTZ aus der Preisaufgabe der Berliner Akademie von 1879 (Experimenteller Nachweis irgendeiner Beziehung zwischen den elektrodynamischen Kräften und der dielektrischen Polarisation der Isolatoren) die erste ganz allgemeine Antezipation seiner Versuche entnimmt, wie sich diese Antezipation nun sogleich spezialisiert durch die Absicht, mit seinen Versuchen die Fundamentalhypothesen der Maxwellschen Theorie zu prüfen; wie HERTZ dann den zu erwartenden Beobachtungserfolg überschlägt, ihn zu klein findet und deshalb seine Absicht zunächst aufgibt; wie nun seine Antezipation über 6 Jahre lang auf der Lauer liegt[1]); wie sie angesichts des ersten günstigen Zufalls zum Angriff übergeht und mit der „Erfahrung" handgemein wird; wie sie sich dann durch Widerstreitsbeachtung und Berichtigung schrittweise umspezialisiert, bis schließlich alles, worauf es zunächst ankommt, in prägnantem Sinne zum gegenseitigen „Passen" gelangt. Doch dies ist Zukunftsmusik: vorläufig handelt es sich für die Denkpsychologie vor allem um die elementaren Intelligenzleistungen der Menschenaffen und insbesondere der kleinen Kinder[2]). Um in dieses Gebiet experimentell weiter vorzudringen, haben wir — soviel dürfte aus dem Bisherigen klar geworden sein — in der SELZschen Lehre von der schematischen Antezipation einen begrifflichen Ansatz, der schon jetzt alles theoretische Rüstzeug der älteren Psychologie an Leistungsfähigkeit weit übertrifft und im Verein mit der Versuchsmethodik KÖHLERS dazu helfen wird, eine *neue Phase naturwissenschaftlicher Erforschung des Denkens* heraufzuführen.

In dem vorliegenden Bericht habe ich mich bemüht, den psychologischen Sinn des Selzschen Ansatzes *in möglichst engem Anschluß an seine bisherige Verifikationsbasis* (dazu gehören *auch* die Versuche KÖHLERS und, richtig verstanden, die Äußerungen von HERTZ) darzulegen, um mit der groben ersten Näherung, die ich hier nur geben konnte, wenigstens im naturwissenschaftlichen Sinn exakt zu bleiben. Für die genaueren Ausführungen (die natürlich vielfach zum Widerspruch reizen) muß auf das Werk selber verwiesen werden. In jeder Hinsicht am leichtesten zugänglich ist die „Kurzgefaßte Darstellung" (vgl. S. 471 Sp. 2 Anm. 1). Sie gibt auf etwa 25 Seiten zunächst eine Art physiologischer Substruktion des Ansatzes: dem antezipierenden Beziehungsschema entspricht dabei ein „System" von spezifischen, mehr oder weniger allgemeinen „Operationen", die das Schema sukzessiv zu konkretisieren suchen (psychologisch haben wir dies ja S. 474 skizziert); diese Operationen sind, solange die Gesamtantezipation wirksam ist, bestimmten auslösenden „Reizen", nämlich den aufeinanderfolgenden Konkretisierungsstufen des Schemas, in konstanter Weise „reflexoidal" zugeordnet. Den Schluß der „Kurzgefaßten Darstellung" bildet eine summarische Erörterung der „Hauptfälle der geordneten produktiven Geistestätigkeit".

Endlich noch einige literarische Hinweise. Den ersten Band des SELZschen Werkes, der bereits seit 1913 vorliegt, hat zunächst KÖHLER 1917 und 1918 in seinen Schimpansenuntersuchungen mehrfach zustimmend herangezogen. Die SELZsche Beziehungsabstraktion (Abstraktion von „Sachverhältnissen") erscheint bei KÖHLER als „Einsicht in Sachbezüge". Das von KÖHLER versprochene Werk, das diese Untersuchungen abschließen und auch auf „Äußerungen der Fachgenossen" eingehen soll, steht leider noch aus (vgl. das Vorwort zur 2. Auflage der „Intelligenzprüfungen"). Ein Referat über den ersten Band von SELZ gibt der zweite Band des in Anm. 5 genannten Lehrbuches von FRÖBES (2. Aufl. 1922, S. 201ff.). Eine zutreffende Würdigung des ersten Bandes findet sich 1921 gelegentlich in KOFFKAS „Grundlagen der psychischen Entwicklung" (Osterwieck, S. 176ff.). Die Leistung des Gedächtnisses wird hier folgendermaßen zusammengefaßt: „Ist einmal unter bestimmten äußeren Bedingungen eine neue Struktur entstanden, so bleibt diese *Leistung* dem Organismus irgendwie erhalten. Die Struktur wird sich bei Wiederholung der äußeren Umstände viel leichter und schneller einstellen als das erstemal, sie wird auch dann entstehen, wenn die äußeren Umstände verändert und nicht mehr ebenso günstig sind wie das erstemal, oder wenn sie unvollständig sind, so daß sie von sich aus nur eine Teilstruktur bedingen würden." Die Leistungen der letzten Art (wo also nach geläufigen Strukturprinzipien mit neuen Anfangsgliedern ein analoges Ganzes erst *geschaffen* wird) illustriert KOFFKA an bekannten Neubildungen der Kindersprache (*vergürteln* = mit Hilfe des Gürtels befestigen, *metern* = mit Zentimetermaß messen, *maschiner* = Lokomotivführer, *es glockt* = die Glocken läuten) und fährt dann fort: „Diese Art der Reproduktion, die mit dem alten (Assoziations-) Prinzip noch weniger gemein hat als die erste, ist überhaupt für die Entwicklung und den Fortschritt des Denkens von sehr großer Bedeutung." Dann folgt ein Hinweis auf den ersten Band von SELZ. In der Tat erkennen wir in der KOFFKAschen „Struktur" ohne weiteres das SELZsche Beziehungsschema und in den angeführten Neubildungen Elementarbeispiele schematischer Antezipationswirkung. (Im ersten Bande von SELZ wären hierzu vor allem zu vergleichen die drei Gesetze der Komplexergänzung S. 128, ferner die Ausführungen über „analoge Nachkonstruktion" S. 163ff.) Leider hat KOFFKA in seiner Darstellung von vornherein das

[1]) „Es blieb aber mein Ehrgeiz, die damals aufgegebene Lösung später dennoch auf irgendeinem neuen Wege zu finden, zugleich war meine Aufmerksamkeit geschärft für alles, was mit elektrischen Schwingungen zusammenhing. Es war nicht wohl möglich, daß ich eine neue Form solcher Schwingungen übersehen konnte, falls ein glücklicher Zufall mir eine solche in die Hände spielte" (S. 1f.). Die Erinnerung an HERTZ verdanke ich dem Herausgeber der „Naturwissenschaften".

[2]) Ich möchte bei dieser Gelegenheit auf die *„Montessori-Bewegung"* empfehlend hinweisen. In dem Bestreben, das Kind von klein auf soviel als eben möglich zu selbstgewählten, selbständig ausgeführten und selbstkontrollierten Leistungen zu veranlassen, hat die italienische Ärztin MARIA MONTESSORI in langjährigen Beobachtungen an schwachsinnigen, dann an normalen Kindern ein Übungs- und Lernmaterial ausprobiert, das mit den von KÖHLER für seine Affen entworfenen Situationen in psychologischer Beziehung ganz analog ist. Eine gewisse gegenseitige Fühlungnahme und Zusammenarbeit zwischen Denkpsychologie und Montessori-Praxis wäre sehr zu begrüßen. Vgl. zur Einführung: MONTESSORI u. a., „Die Selbsterziehung des Kindes", ferner das diesjährige Montessori-Heft der Zeitschrift: „Die neue Erziehung" (beides Berlin: C. A. Schwetschke Sohn).

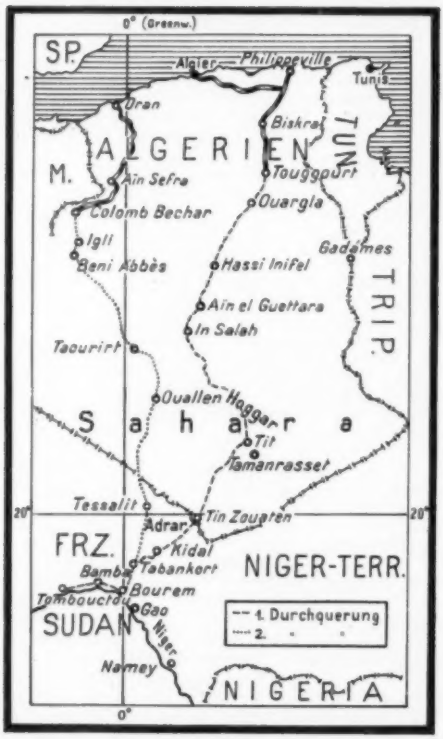
Problem der Neuleistungen so scharf vom Gedächtnisproblem abgetrennt, daß die eben besprochene richtige Einsicht — nicht sehr zum Vorteil des Buches — ohne weitere Wirkung bleibt. 1923 hat dann BENARY in der „Psychologischen Forschung" (III, 4, S. 417—425) über das Gesamtwerk von SELZ berichtet. Ich gehe auf dieses „Referat", das — als parteipolitischer Hetzartikel — allerdings eine Meisterleistung darstellt, hier nicht näher ein; hoffentlich ist später einmal Gelegenheit, zu zeigen, wie gut der *psychologische* Ansatz von SELZ (vielleicht entgegen der Meinung seines Urhebers) mit den allgemeineren Leitvorstellungen der sog. „Gestalttheorie" verträglich ist. Über die sprachpsychologischen Untersuchungen des zweiten Bandes, worauf ich vorhin gar nicht eingegangen bin, hat JUNKER berichtet (Die indogermanische und die allgemeine Sprachwissenschaft, in der Streitberg-Festschrift, Heidelberg 1924, S. 4 und 36—45). Endlich hat SCHILDER versucht, eine gewisse Verbindung zwischen der Denkpsychologie und der Psychoanalyse herzustellen; dabei ist der erste Band von SELZ besonders berücksichtigt (vgl. etwa: Medizinische Psychologie, Berlin 1924, S. 194—213.)

*

Ein zweiter Artikel über die denkpsychologischen Untersuchungen von W. BETZ erscheint in einigen Monaten.

Wüstendurchquerungen.

Die modernen Verkehrsmittel machen auf ihrem Siegeszuge durch die Welt nicht vor den unzugänglichsten Gebieten Halt, und neuerdings sind selbst die größten und unwirtlichsten Wüsten der Erde, deren



Durchquerung noch vor kurzem mit höchster Lebensgefahr verknüpft war, von ihnen bezwungen worden. Dies gilt insbesondere von der Sahara und der syrisch-arabischen Wüste, deren Verkehrsfeindlichkeit namentlich in der Nachkriegszeit von den Franzosen und Engländern schwer empfunden wurde, die in rascher Folge energische Versuche unternahmen, um einen regelmäßigen Automobilverkehr von Algerien zum Niger, bzw. von Palästina nach Mesopotamien ins Leben zu rufen.

Einen kurzen Überblick über die bisher erzielten Erfolge gibt PIERRE CLERGET (Les conséquences géographiques des nouveaux moyens de transport. L'automobilisme et l'aeronautique. Rev. générale des Sciences pures et appliquées. Paris, 36. année, No. 5, 15. mars 1925, S. 142—149).

Die *Trans-Sahara-Route* wurde zuerst von Touggourt, der südlichsten, in 33° nördlicher Breite gelegenen Station des ostalgerischen Eisenbahnnetzes aus in Angriff genommen. Im Juli 1916 erreichte ein Automobil über Ouargla mit Not und Mühe In Salah (27° Nord), im Dezember 1918 kam ein Wagen noch 150 km weiter nach Süden und einen Monat später konnte man noch 300 km weiter nach der, unter dem nördlichen Wendekreise gelegenen Landschaft Hoggar vorrücken. Im Februar und März 1919 umfuhren 7 Automobile, begleitet von 3 Flugzeugen im großen Bogen alle französischen Militärposten Süd-Algeriens und legten dabei 2800 km zurück. Durch diesen Erfolg angespornt, verließ am 25. Dezember 1919 eine ganze Karawane von 32 Automobilen Touggourt, von denen aber nur 9 nach einer sehr schwierigen Reise am 1. Februar 1920 bis Tamanrasset, südlich des Ahaggar-Massifs (23° Nord) gelangten. Nur dreien von den 32 Automobilen gelang es unter großen Schwierigkeiten, am 17. Juli wieder Ouorgla zu erreichen. Der General Laperrine, welcher als guter Kenner der Sahara galt und im Flugzeug der Expedition vorauseilte, verunglückte und ging in der Wüste elend zu Grunde.

Dieser Mißerfolg des großzügig ins Werk gesetzten Unternehmens wirkte stark entmutigend, denn man erkannte, daß die Hauptschwierigkeit darin lag, daß die Räder sich in dem tiefen Wüstensand festfuhren. Selbst Zwillingsgummireifen, gleichviel welchen Durchmessers, graben sich tief in den Sand ein und gewinnen dabei doch keinen Halt.

Es bedeutete daher einen grundsätzlichen Fortschritt, als die französische Automobilfirma Citroën Wagen mit Transportraupen nach dem System Kégresse-Hinstin konstruierte, denn die schmiegsamen Raupen pressen den Sand fest zusammen und gehen ohne Schwierigkeiten über den Boden fort, auf dem sie sich einen Weg sozusagen selbst herrichten. Mit 5 Wagen dieser Bauart brach eine französische Expedition am 17. Dezember von Touggourt auf und gelangte ohne sonderliche Schwierigkeit auf dem bis Tamanrasset schon befahrenen Wege weiter längs des Ostrandes des zwischen Hoggar und dem Nigerknie gelegenen Adrarmassivs nach Timbuktu, das am 7. Januar 1923 erreicht wurde. Die Automobile hatten die Fahrt so gut überstanden, daß am 10. Februar die Rückfahrt vom Niger auf dem gleichen Wege angetreten werden konnte. Am 5. März traf die Karawane wieder in Ouargla ein.

Eine ausführliche Beschreibung dieser epochemachenden Reise haben die Leiter der Expedition, G. M. Haardt und L. Audouin-Dubreuil veröffentlicht (Die erste Durchquerung der Sahara im Automobil. Berechtigte Übertragung von Paul Fohr, Berlin-Grunewald, Kurt Vowinckel Verlag 1924. 201 Seiten. 53 Abbildungen. 1 Kartenskizze. Ganzleinen 5 M.) Das Buch bringt anschauliche Schilderungen und prächtige Bilder aus jenen fast gänzlich unbekannten Landschaften der inneren Sahara und seinen Bewohnern, den Tuareg, sowie aus der afrikanischen Großstadt Timbuktu und dem Nigerflusse. Wir erfahren aus ihm aber auch, daß die bescheidenen Automobilmotoren von nur 10 PS eine Last von 2000 kg bewältigten (S. 27), die mittlere Fahrgeschwindigkeit 40 bis 50 km pro Stunde betrug, und daß die Wagen mit Maschinengewehren ausgerüstet waren.

Mit der glücklichen Durchführung dieser Fahrt war die Einrichtung eines Automobilverkehrs durch die Sahara gesichert. Es bildeten sich eine Compagnie Trans-africaine Citroën sowie eine Compagnie générale transsaharien, deren letztere, von dem Endpunkt des westalgerischen Bahnnetzes, Colomb-Béchar ($31^1/_2°$ Nord), nahe der marokkanischen Grenze, ausgehend, im Januar 1924 in 7 Tagen den Niger erreichte. (Gaston Gradis: A la recherche du Grand Axe. Contribution aux Etudes transsahariennes. La Géographie, Paris, 1924, **42**, S. 309—338. Mit Kartenskizzen.) Weitere Expeditionen folgten, und es scheint, daß die westliche Route den Sieg über die östliche davontragen wird. Schon ist es einer Gruppe von Renaultwagen, die am 15. November 1924 Colomb-Béchar verließ, gelungen, über Timbuktu das Nigertal über Gao und Namey hinabfahrend, am 3. Dezember bei Savé den Anschluß an das Eisenbahnnetz von Dahomey herzustellen, und man hofft diese Reisedauer von 18 Tagen auf 10 Tage, bei Flugzeugbenutzung auf 5 Tage herabdrücken zu können. Eine weitere Gruppe von Citroënwagen ist unterwegs, um von Namey nach Osten abbiegend, die Verbindung nach dem Tschadsee und dem Kongo zu eröffnen und über den ägyptischen Sudan und Abessinien zurückzukehren. Am 11. Januar 1925 war sie in Bangui am Oubangui-Flusse eingetroffen.

Viel günstiger als in der Sahara sind die Bedingungen für Automobile in der Syrisch-Arabischen Wüste, die ihren Nordzipfel trennend zwischen Syrien und Mesopotamien vorschiebt. Da hier der Boden im allgemeinen fester ist, so bedarf man keiner Raupen-Automobile, sondern kann sich gewöhnlicher Fordwagen bedienen.

Seit 1923 werden zwei Wege von Damaskus nach

Bagdad benutzt, der nördliche Weg führt über Palmyra, trifft bei Hit auf den Euphrat und folgt bis Feludja diesem Flusse, der dort überquert wird.

Der südliche Weg geht über Amman im Ostjordanland ostwärts und erreicht den Euphrat bei Ramadi. Die nördliche, 940 km lange Route führt durch französisches Mandatsgebiet und wird in 24 Stunden zurückgelegt, die südliche 860 km lange bleibt auf englischem Gebiet und erfordert nur 21 Stunden. Der Weg durch diese Wüste war seit unvordenklichen Zeiten eine Haupthandelsroute zwischen den Gebieten der östlichen und der westlichen Zivilisation, wobei den Arabern die Vermittlerrolle zufiel. Erst mit der Auffindung des Seeweges nach Ostindien durch Vasco da Gama 1497 begann der Verfall dieses Landweges, und Bagdad verlor seine überragende Stellung als Welthandelsplatz allerersten Ranges und sank auf das Niveau einer verhältnismäßig unbedeutenden Stadt herab. Heute, wo die Zeitersparnis beim Personen- und Gütertransport eine immer steigende Wichtigkeit erlangt und die Beherrschung des Landweges nach

Indien sich für das britische Reich als eine politische und strategische Notwendigkeit erweist, kommt auch der alte Karawanenweg durch die Wüste wieder zu seinem Rechte, und auf der englischen Strecke findet ein lebhafter Verkehr statt. Aus Gründen der Sicherheit fahren stets mehrere Automobile miteinander, und an den Endpunkten stehen Reservewagen und Flugzeuge bereit, um gegebenenfalls bei Störungen oder Überfällen Hilfe bringen zu können. (Nähere Einzelheiten mit Abbildungen und Karte siehe Geographical Journal. London 1923, **62**, S. 241—271, 350—359 u. 468; 1924, **63**, S. 150—153.)

Eine ganz vorzügliche Schilderung von zwei Durchquerungen der Wüste auf verschiedenen Wegen verdanken wir dem amerikanischen Major E. A. POWELL (Mit Auto und Kamel zum Pfauenthron. Berechtigte Übertragung von MAX HESSE. Berlin-Grunewald, Kurt Vowinckel Verlag 1924. 260 Seiten, 83 Abbildungen, 1 Kartenskizze. Ganzleinen 5 M.)

Welchen Umfang der Verkehr durch die Wüste bereits angenommen hat, geht aus einer Zusammenstellung hervor (Correspondance d'Orient 1924, octobre, pag. 602), nach welcher im August 1924 351 Automobile mit 1500 Reisenden die Wüste durchquert haben, darunter 641 Perser, 621 Einwohner Mesopotamiens und 34 Syrer. Eine Hauptanziehungskraft übt der neue Verkehrsweg auf die zahlreichen Touristen aus, denen er Gelegenheit bietet, von Palästina aus schnell und bequem die alten historischen Stätten und Ruinen Vorderasiens zu besuchen.

Neben dem Automobilverkehr haben die Engländer einen regelmäßigen Flugdienst eingerichtet, dem etwa zwei Dutzend Landungsplätze auf der Strecke von Bagdad bis an das Bahnnetz des Ostjordanlandes zur Verfügung stehen. Um den Fliegern die Orientierung zu erleichtern, ist in dem harten Wüstenboden durch gewaltige Motorpflüge eine weithin sichtbare Spur gezogen worden. Bei der Sahara sowohl wie bei der syrisch-arabischen Wüste scheint der Automobilverkehr nur den Vorläufer für eine Eisenbahnlinie bilden zu sollen. Das Projekt einer transsaharischen Eisenbahn beschäftigt die Franzosen ja bereits seit Jahrzehnten, aber seine Verwirklichung würde hauptsächlich in französischem Interesse liegen und enorme Geldmittel erfordern, ohne eine entsprechende Rentabilität zu gewährleisten.

Anders verhält es sich mit dem englischen Plan, eine Eisenbahn von Bagdad nach Haifa an der Küste Palästinas durch die syrisch-arabische Wüste zu bauen, die einem Jahrtausende alten Handelsweg zu neuem Leben verhelfen könnte. Eine solche Linie, welche die Hedschasbahn mit der Bagdadbahn verbinden soll, würde das wichtigste Glied in einem zukünftigen Schienenstrang von Ägypten nach Indien bilden. Man beschäftigt sich sogar ernstlich mit der Absicht, neben der Bahn eine Röhrenleitung zu legen, welche britischen Kriegsschiffen und Tankdampfern die Möglichkeit geben soll, mesopotamisches Öl einzunehmen, ohne das Mittelmeer verlassen zu brauchen.

Bis jetzt hindert die Feindseligkeit der Araber, denen der Weltkrieg reichlich Waffen und Munition verschaffte, die Ausführung dieses Planes. Da die Wüstenstämme sich aber dauernd gegenseitig bekämpfen, so wird nach englischer Ansicht ihre Ausrottung die Folge sein, und die übrig bleibenden Beduinen hofft man in Unter-Mesopotamien ansiedeln und als Ackerbauer mit dem Anbau von Weizen und Baumwolle beschäftigen zu können, wobei sie ihre kriegerischen Eigenschaften allmählich verlieren dürften.

O. BASCHIN.

Berichte der Deutschen wissenschaftlichen Kommission für Meeresforschung[1])

Von W. SCHNAKENBECK, Hamburg.

Als vor dem Kriege Deutschland noch im Zentralausschuß der Internationalen Meersforschung vertreten war, wurden unter dem Titel „Die Beteiligung Deutschlands an der Internationalen Meeresforschung" Jahresberichte herausgegeben, in denen sowohl über die Tätigkeit der deutschen Gelehrten wie auch über die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen berichtet wurde. Der letzte (VI.) Band erschien im Jahre 1911. Als Deutschland mit Beginn des Krieges aus der Internationalen Meeresforschung ausschied, blieb zwar die Deutsche Kommission als Vereinigung deutscher Gelehrter bestehen und arbeitete auch an den bisherigen Aufgaben weiter, soweit es die Verhältnisse erlaubten. Die Herausgabe besonderer Berichte unterblieb aber, auch in den ersten Jahren nach dem Kriege, infolge der schwierigen Wirtschaftslage. Neuerdings ist aber die Kommission, die allerdings der internationalen Vereinigung bisher noch nicht wieder angehört, dazu übergegangen, unter dem in der Überschrift angegebenen Titel wieder Berichte herauszugeben, die als Fortsetzung der früheren Jahresberichte gedacht sind und auch in derselben äußeren Form und bei demselben Verlag (Otto Salle, Berlin) erscheinen.

Kürzlich ist der I. Band der Öffentlichkeit übergeben. In der Gliederung und in der Form des Inhalts unterscheidet sich die neue Folge der Berichte von den früheren nicht wesentlich. Neben den Tätigkeitsberichten enthält sie Originalarbeiten einzelner Mitarbeiter, in denen die Untersuchungen und Ergebnisse aus den verschiedenen Arbeitsgebieten dargestellt sind.

Der I. Band, in dem stattlichen Umfang von 398 Seiten mit 10 Tafeln und 5 Karten, umfaßt die Arbeiten aus den Jahren 1919 bis 1923. Für die Zukunft ist jedoch eine Änderung in dem Erscheinen insofern geplant, als nicht regelmäßig ein geschlossener Band erscheinen, sondern die einzelnen Arbeiten als Einzelhefte in der Reihenfolge ihrer Fertigstellung gedruckt und der Öffentlichkeit übergeben werden sollen. Später werden dann die erschienenen Hefte zu einem Bande zusammengefaßt. So liegt bereits das 1. Heft des II. Bandes vor, in welchem die z. Z. sehr aktuelle Schongebietsfrage in der Nordsee behandelt wird.

Zu Eingang des I. Bandes wird zunächst dem verstorbenen V. HENSEN unter Würdigung seiner hervorragenden Verdienste, besonders auf dem Gebiet der quantitativen Planktonforschung, ein Nachruf gewidmet, dem sich die Tätigkeitsberichte der Kommissionsmitglieder auf den speziellen, ihnen zugeteilten Arbeitsgebieten anschließen.

Der zweite Teil bringt Originalarbeiten aus allen Gebieten der Meeresforschung und umfaßt 11 wissenschaftliche Abhandlungen.

Eröffnet wird diese Reihe durch K. BRANDT mit einem Beitrag über „Die Produktion in den heimischen Meeren und das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren". Auch im Meere ist kein tierisches Leben möglich ohne die Urproduktion pflanzlicher Organismen.

[1]) Neue Folge, Bd. 1. Berlin: Otto Salle. Preis 25 M.

Nur sind hier nicht wie auf dem Lande höhere Pflanzen die Produzenten, sondern es sind die zwar kleinen, aber in gewaltigen Mengen vorhandenen Algen, die aus anorganischer Substanz organische Substanz aufbauen, in erster Linie die Diatomeen, Schizophyceen, Euflagellaten und Peridineen. Diese pflanzlichen Meeresorganismen sind nicht, wie die Landpflanzen, von gewissen klimatischen Bedingungen (Regen und Bodenfeuchtigkeit) abhängig, da das Wasser ihnen stets in optimaler Menge zur Verfügung steht; sie sind auch nicht abhängig von der Bodenbeschaffenheit, da sie frei im Wasser leben und die hier gelösten Nährstoffe osmotisch aufnehmen. Das Wasser ist eine natürliche Nährlösung, und es ist deshalb das Gedeihen der Algen von der Konzentration der Nährstoffe (Verbindungen der biogenen Elemente H, O, K, Ca, Mg, Na, S, Cl, Fe, Br. usw.) abhängig. Daneben wirken natürlich auch Licht und Wärme bei der Wachstums- und Vermehrungsgeschwindigkeit der Algen mit. Von keinem Einfluß dagegen sind die Wasserbewegungen und atmosphärischen Niederschläge. Sie und die Flüsse, die dem Meere neue Nährstoffe zuführen, sind lediglich für die Ergänzung und Verteilung der Nährstoffe und die Ausbreitung der Planktonorganismen wichtig. Der Nährstoffgehalt des Oberflächenwassers unterliegt aber einem jahreszeitlichen Wechsel, und dieser steht in deutlichen Beziehungen zu dem periodischen Auftreten der Planktonalgen. Es treten mehrere Änderungen im Jahre ein, und so folgt z. B. auf das erste Maximum im Phosphatgehalt (Mitte Februar) die Frühjahrswucherung der Diatomeen, die bis April oder Mai andauert. Das dann eintretende Minimum ist auf den Verbrauch durch die Kieselalgen zurückzuführen, und nun kommen andere Formen (Peridineen und Euflagellaten) in den Vordergrund, die andere Ansprüche an die Konzentration der Nährstoffe stellen. In ähnlicher Weise wie für das Oberflächenwasser bestehen auch jahreszeitliche Schwankungen für das Tiefenwasser, und zwar verlaufen die Kurven annähernd parallel für beide Schichten. Es sind aber insofern einige Unterschiede zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser festzustellen, als in der Nordsee an den tiefsten Stationen mehr Nitrat gefunden wurde als an anderen Stellen. In der Ostsee verhielt sich Phosphorsäure und Kieselsäure ebenso. Die Ursachen liegen teilweise wohl darin, daß der Nährstoffverbrauch durch Schwebealgen in den Tiefenschichten nicht in Betracht kommt, daß hier aber umgekehrt in starkem Maße eine Umsetzung organischer in anorganische Substanz erfolgt.

Auf ein ganz anderes Gebiet der Meeresforschung führen uns die beiden nächsten Arbeiten, die beide den gleichen Gegenstand behandeln. H. HENKING liefert einen Beitrag zu der Frage, welche Wirkung der Krieg auf den Schellfisch (Gadus aeglefinus) und Wittling (Gadus merlangus) in der Nordsee ausgeübt hat, und H. HEIDRICH untersucht den Schellfischbestand der Nordsee nach dem Kriege. Es ist schon seit einer Reihe von Jahren mit einer der Hauptaufgaben der Meeresforschung, nachdem aus den Kreisen der praktischen Fischerei Klagen über den Rückgang in den Erträgen für manche Fischarten laut geworden sind, den Ursachen dieses Rückganges nachzuforschen. Da nun während des Krieges in dem größten Teil der Nordsee die Ausübung der Fischerei ganz unmöglich bzw. sehr stark eingeschränkt war, mußte man annehmen, daß diese Zeit eine schonende Wirkung auf den Fischbestand ausüben würde. Nun haben die vorliegenden Untersuchungen tatsächlich gezeigt, daß der Schellfischbestand, vor allen Dingen die Menge der *großen* Schellfische sich infolge der Kriegsschonzeit wesentlich vermehrt hat. Unabhängig davon bestehen aber natürliche Schwankungen in der Erzeugung des Nachwuchses. So ist z. B. im Jahre 1919 ein besonders reicher Nachwuchs festgestellt worden, der aber nicht dem im Jahre 1915 beobachteten gleichkam. Ähnliche Schwankungen, sog. reiche und arme Schellfischjahre, sind auch in früheren Jahren festgestellt worden, und man kann daraus schließen, daß solche Schwankungen natürliche Ursachen haben, die wir allerdings noch nicht kennen. Beim Wittling bestehen ebenfalls derartige natürliche Schwankungen, die aber nicht mit denen beim Schellfisch zusammenfallen, trotz der nahen Verwandtschaft dieser beiden Arten. So war das Jahr 1905 arm an kleinen Schellfischen, dagegen reich an kleinen Wittlingen.

Von besonderer Bedeutung für die praktische Fischerei sind die Untersuchungen über den sog. Trawlhering, d. h. den Hering, den man mit dem Schleppnetz (Trawl) im Gegensatz zu der ursprünglich in der Nordsee üblichen Treibnetzfischerei fängt. Dieser neue Zweig in der Heringsfischerei, der in den letzten Jahren besonders in Deutschland einen großen Aufschwung genommen hat, ist wegen seiner wirtschaftlichen Bedeutung einer Förderung durch eingehende wissenschaftliche Untersuchungen wert. Und darum geht das Studium des Trawlherings vornehmlich von dem Gesichtspunkt aus, daß diejenigen biologischen Eigentümlichkeiten des Herings eingehend zu untersuchen sind, die seine Fangbarkeit mit dem Schleppnetz bedingen, und die Begleitumstände zu studieren, die günstig oder ungünstig auf den Fang wirken können. Aber ganz abgesehen von dieser praktischen Bedeutung der Untersuchungen ist es auch von rein wissenschaftlichem Wert, die Biologie dieses so häufigen Fisches, der uns noch immer so manche Rätsel aufgibt, weiter zu klären. E. EHRENBAUM gibt nun in seiner Abhandlung eine ausführliche Darstellung über die Entwicklung des Trawlheringsfanges und über dessen Studium, das sich auf Untersuchungen über Rassen, Alter, Ernährung, Wanderungen und Fortpflanzungs- und Laichverhältnisse erstreckt. Man bekommt aus dieser Abhandlung auch ein anschauliches Bild von dem zeitlichen und örtlichen Verlauf der Trawlheringsfischerei, die sich einerseits im Sommer in der westlichen Nordsee abspielt, beginnend im Norden und nach Süden fortschreitend. Hier handelt es sich um den Fang des laichreifen Herbstherings der westlichen Nordsee. Andererseits spielt sich eine zweite Trawlfischerei im Winter im Skagerrak ab. Diese gilt dem Fang eines abgelaichten Herings, der von den Laichplätzen in der nordöstlichen Nordsee kommt und nun auf seine Weideplätze ins Skagerrak zieht. Diese Heringsschwärme sind aber mehr oder weniger stark mit einer anderen Form, einem Frühjahrslaicher, untermischt.

An die Untersuchungen EHRENBAUMS schließen sich zwei Arbeiten von H. LISSNER an, die beide ein spezielles Gebiet der Trawlheringsuntersuchungen behandeln. Die erste Arbeit beschäftigt sich mit der Altersbestimmung, die beim Hering bisher fast ausschließlich an den Schuppen gemacht wurde. Es zeigt sich aber, und das war das Hauptziel dieser Arbeit, daß die Otolithen („Gehörsteine", besser Statolithen) nicht nur ein ebenso zuverlässiges, sondern sogar ein vorzuziehendes Hilfsmittel für die Altersbestimmung des Herings darstellen. Sehr wichtig sind die Untersuchungen über die Nahrungsaufnahme, die Gegenstand der zweiten Arbeit LISSNERS sind. Die bisherigen Ergebnisse werden kurz dahin zusammengefaßt, daß bei dem laichreifen Herbsthering der westlichen Nordsee der Freßakt an bestimmte Tageszeiten gebunden ist.

und zwar an die mit schwächerem Licht. Die Heringe beginnen mit dem Fressen am Nachmittag und hören nach Mitternacht oder gegen Morgen damit auf.

In der VII. Abhandlung stellt W. MIELCK die Untersuchungsergebnisse über die Ausbeute an Fischeiern und -larven von einer Fahrt des Reichsforschungsdampfers „Poseidon" im Oktober 1922 in die Nordsee zusammen. Einen großen Raum nimmt auch hier das Studium der Heringslarven ein, daneben wird aber noch eine ganze Reihe anderer Fische behandelt. Vor allen Dingen wird auch Gewicht darauf gelegt, die Nahrung der Larven festzustellen. Es ist aber nicht möglich, im Rahmen dieser Besprechung auf Einzelheiten einzugehen. Der Arbeit ist eine Reihe von Tafeln beigegeben, welche Photographien und Zeichnungen von Jugendstadien von Trigla gurnardus und Callionymus (maculatus?) enthalten.

Ein in der Meeresbiologie überhaupt und in der deutschen Meeresforschung im besonderen neues Gebiet behandelt die Arbeit von A. HAGMEIER. Es ist das die Untersuchung der Bodenfauna (Bodenbonitierungen) in der Deutschen Bucht, die nach einer dänischen Methode (PETERSEN) mit Hilfe eines Bodengreifers vorgenommen wird. Das Gerät, ähnlich einem Greifbagger, faßt, auf den Meeresboden herabgelassen, Grund von 0,1 qm Fläche. Die so heraufgeholten Proben werden gesiebt, und die darin enthaltenen Organismen (Würmer, Weichtiere, Stachelhäuter) ausgesucht, gezählt und gewogen. Die Bedeutung derartiger Untersuchungen liegt auf der Hand, bekommen wir doch dadurch nicht nur einen Einblick in die Art, Menge und Verteilung der Bodenorganismen, sondern kann doch danach auch eine Ertragsschätzung des Meeres an Bodentieren vorgenommen werden, nach dem Vorgang HENSENS beim Plankton. Und wie Art, Menge und Verteilung des Planktons für den ganzen Haushalt des Meeres von ausschlaggebender Bedeutung ist, so bildet die Bodenfauna unmittelbar einen wesentlichen Faktor für die Ernährungsmöglichkeit der Grundfische. HAGMEIER konnte nun bei seinen Untersuchungen gewisse „Tiergemeinschaften" feststellen, die er in Anlehnung an die Methode PETERSENS nach gewissen „Leitformen" bezeichnet. Vorläufig handelt es sich allerdings erst um Anfangsversuche, denen ganz systematisch vorzunehmende Untersuchungen folgen werden. Es hat sich aber schon jetzt gezeigt, daß die einzelnen geprüften Bezirke sowohl nach den vorkommenden Arten wie nach der Volksdichte unter sich sehr verschieden sind. Ja selbst innerhalb dieser Bezirke bestehen Unterschiede. Es hat sich gezeigt, daß einzelne Tierarten, besonders solche, die als Nahrung für die Nutzfische Bedeutung haben, durchaus nicht gleichmäßig über ihr Wohngebiet verbreitet sind, sondern in „Nestern" oder „Flecken" auftreten. Und diese sind wieder unter sich verschieden durch das Vorwiegen einzelner Altersgruppen.

Die biologische Verschiedenartigkeit der Nord- und Ostsee ist nicht zum geringsten Teil die Folge ihrer abweichenden physikalisch-chemischen Eigenschaften. Der Einfluß der Gezeiten, Temperatur, Salzgehalt, Bodengestaltung und die damit zusammenhängenden Tiefenverhältnisse sind in der Ostsee wesentlich anders als in der Nordsee. Derartige physikalisch-chemische Eigenschaften und ihre Unterschiede in der Nordsee und Ostsee werden nach den neuesten Forschungsergebnissen in dem Beitrag von G. SCHOTT behandelt. Besonderes Gewicht ist dabei auf die Untersuchungen des Luftgehaltes gelegt. Schon in den Bodenschichten der Nordsee ist ein Überschuß freier Kohlensäure festgestellt, was auf die Atmungswirkung der Meeresorganismen zurückgeführt wird, die Kohlensäure produzieren. In der tiefen Norwegischen Rinne, wo die Erneuerung und Durchmischung der Wassermassen schwieriger ist, erhöht sich das Sauerstoffdefizit. Zu sehr überraschenden Ergebnissen haben die Untersuchungen einzelner tiefer Mulden in der Ostsee geführt, wo in den Bodenschichten gewaltige Mengen freier Kohlensäure gefunden wurden. So wurde in einer Mulde bei Gotland, die eine Tiefe von etwa 400 m hat, festgestellt, daß die Gesamtluft der Deckschicht 34% Sauerstoff und 2% Kohlensäure enthielt. In der Bodenschicht war aber ein vollkommen umgekehrtes Verhältnis zu finden, nämlich Sauerstoff weniger als 7% und Kohlensäure 25% der Gesamtluft. Im Zusammenhang mit diesen Feststellungen erheben sich neue Fragen biologischer Natur, z. B. nach der Möglichkeit und Art des tierischen Lebens in diesen Schichten, die jedoch noch der Lösung harren.

In der folgenden Abhandlung legt H. LÜBBERT seine Beobachtungen über den Schollenbestand im Amerikahafen zu Cuxhaven im Jahre 1922 dar. In dem künstlichen Hafen von 42 ha Fläche wurde 1922 eine ungeheure Menge junger Plattfische festgestellt, wie sie in früheren Jahren (vor dem Kriege) nicht beobachtet wurden. In der Mehrzahl waren es Pleuronectes platessa, daneben aber auch Pl. limanda und Pl. flesus. Die Schollen gehörten den beiden ersten Jahresklassen an. Die großen Ansammlungen dieser Jungfische sind wohl zur Hauptsache auf den Reichtum an geeigneter Nahrung (kleiner Mollusken) zurückzuführen. Und für die reiche Entwicklung dieser Nährtiere war zweifellos die gewaltige Schlickschicht günstig, die sich im Laufe der Jahre in dem seit Kriegsausbruch wenig oder gar nicht benutzten und nicht ausgebaggerten Hafenbecken gebildet hatte.

Die sehr umfangreichen Untersuchungen über die Scholle in der westlichen Ostsee von S. STRODTMANN und H. LANGHAMMER bilden den Schluß dieser Reihe von Arbeiten. Auch hier sind es praktische Ziele, die mit diesen eingehenden Untersuchungen verfolgt werden, denn auch in der Ostsee sind die Klagen der Fischer über einen Rückgang in der Schollenfischerei immer lauter geworden. Um Maßregeln zur Abhilfe treffen zu können, ist ein vorheriges eingehendes Studium erforderlich. Die Größe der Marktschollen, die Dichte des Bestandes, Alter und Wachstum sind einer genauen Untersuchung unterzogen, und die Ergebnisse verschiedener Einzelgebiete sind miteinander verglichen. Durch die umfangreichen Altersuntersuchungen — es sind bei mehr als 12 000 Schollen Altersbestimmungen gemacht — war es auch möglich, das Vorhandensein guter und schlechter Schollenjahre festzustellen. Von großer Wichtigkeit ist auch das Studium des Laichens, sowohl der Laichplätze, der Laichwanderungen, der Laichperioden wie Eintritt der Geschlechtsreife. Auch die Verteilung der Geschlechter ist dabei berücksichtigt und der Ernährungszustand der Schollen. Wenn auch der gesamte Bestand sich verringert hat, so konnte doch festgestellt werden, daß die Durchschnittsgröße der Schollen zugenommen hat. Zum Teil liegt das daran, daß, wie es auch anderweitig bestätigt ist, durch Verminderung der Individuenzahl auch die Konkurrenz bei der Nahrungssuche vermindert ist und damit die Ernährungsbedingungen sich verbessert haben, so daß ein schnelleres Wachstum erfolgte. Immerhin hat sich aber ergeben, daß die intensive Schollenfischerei in der westlichen Ostsee die steigende Unrentabilität der Fischerei verursacht hat. Auf Grund der Ergebnisse aller dieser Untersuchungen werden dann am Schluß die verschiedenen Maßregeln zum

Schutze der Schollenfischerei und deren Zweckmäßigkeit erörtert.

Alles in allem enthält dieser umfangreiche Band eine Summe von Arbeiten, die von der deutschen Meeresforschung in der Zeit der schwierigsten wirtschaftlichen Verhältnisse geleistet sind, Arbeiten, die im Hinblick auf ihren wissenschaftlichen Wert sowohl wie in ihrer Bedeutung für die praktische Fischerei die Deutsche Wissenschaftliche Kommission in erfreulich zunehmender Betätigung zeigen, und die im Inland wie im Ausland verständnisvolle Beachtung und Würdigung finden werden.

Deutsche Meteorologische Gesellschaft.

(Berliner Zweigverein.)

In der Sitzung vom 3. März führte Herr Professor SCHUBERT **Eine neue Methode zur Messung der Verdunstung mit Hilfe des Psychrometers** vor.

Die bisherigen Methoden, die Verdunstung durch die psychrometrische Differenz oder durch das Sättigungsdefizit zu messen, lassen den wesentlichen Einfluß der Luftbewegung außer acht, da sie ja nur den Feuchtigkeitszustand oder umgekehrt den Grad der Trockenheit feststellen. Zu einer einfachen Bestimmung der Verdunstungskraft, welche den Einfluß des Windes voll berücksichtigt, gelangt man durch geeignete Beobachtung eines sich abkühlenden feuchten Thermometers. In dem Newtonschen Abkühlungsgesetz[1]) wird die einem Körper während der Zeiteinheit entzogene Wärme dem Unterschied zwischen seiner Temperatur ϑ und der der Umgebung t proportional gesetzt $= l(\vartheta - t)$, wo l einen von der Temperatur unabhängigen Faktor bezeichnet. Handelt es sich um ein feuchtes Thermometer, so wird diesem außerdem durch Verdunstung eine Wärmemenge $k(\sigma - e)$ entzogen; hierin bedeutet σ die Sättigungsmenge für die Temperatur ϑ und e die absolute Luftfeuchtigkeit. Im ganzen verliert also das feuchte Thermometer die Wärmemenge

$$k(\sigma - e) + l(\vartheta - t) = k(\sigma - e) - l(t - \vartheta) .$$

Andererseits ist die dem Thermometer entzogene Wärme $= -\alpha\vartheta'$, wo ϑ' die Abkühlung für die Zeiteinheit und α die Wärmekapazität (den Wasserwert) des Thermometers bedeutet. Es gilt also die Gleichung

$$-\alpha\vartheta' = k(\sigma - e) - l(t - \vartheta) .$$

Hat das feuchte Thermometer seinen festen Stand t_1 erreicht, so ist $\vartheta' = 0$ und $\sigma = E_1$ gleich der Sättigungsmenge für die Temperatur t_1. Aus der obigen Gleichung folgt dann

$$k(E_1 - e) = l(t - t_1)$$
$$\text{oder} \quad lt + ke = lt_1 + kE_1 .$$

Hieraus ergibt sich, wie ich früher[2]) gezeigt habe, daß das feuchte Thermometer den Gesamtwärmegehalt der Luft mißt.

Durch Umstellung findet man die Psychrometerformel

$$e = E_1 - \frac{l}{k}(t - t_1) .$$

Der Ausdruck $k(E_1 - e) = l(t - t_1)$ ist ein Maß für die Verdunstungswärme, welche das feuchte Thermometer bei der Temperatur t_1 abgibt. Da k wie l von der Stärke der Luftbewegung abhängt, ist es unstatthaft, die Verdunstung allein durch einen der Ausdrücke $E_1 - e$ oder $t - t_1$ messen zu wollen.

Bei der Temperatur t würde das feuchte Thermometer die Verdunstungswärme $k(E - e)$ abgeben Auch hierfür darf nicht allein das Sättigungsdefizit $E - e$ als Verdunstungsmaß genommen werden, da sonst der in k ausgedrückte Einfluß des Windes unberücksichtigt bliebe.

Die Gleichung

$$-\alpha\vartheta' = k(\sigma - e) - l(t - \vartheta)$$

bietet aber ein Mittel, den richtigen Wert der Verdunstungswärme und damit ein Maß der Verdunstung zu finden, indem man die Abkühlung des feuchten Thermometers für den Zeitpunkt bestimmt, in dem seine Temperatur gleich der des trockenen Thermometers ist:

$$\text{Für } \vartheta = t \text{ wird } -\alpha\vartheta' = k(E - e), \text{ d. h.}$$

wenn das feuchte Thermometer die Temperatur de trockenen zeigt, ist seine Abkühlungsgeschwindigkeit ein Maß für die Verdunstung.

Vor der Befeuchtung erwärmt man das Wasser in einem kleinen Glasgefäß in der Hand und führt die Beobachtung etwa in folgender Art aus. Die Anfangstemperaturen des feuchten Thermometers sind zugleich die des trockenen.

Zeit Sek.	Ruhige Luft: Temperatur	Ruhige Luft: Abkühlung für 30 Sek.	Bewegte Luft: Temperatur	Bewegte Luft: Abkühlung für 30 Sek.
0	19,2°		19,3°	
30	18,2°	1,0°	15,0°	$4{,}3° = \delta_1$
60	17,3°	0,9°	13,6°	$1{,}4° = \delta_2$
Anfangswert	1,05°			$5{,}75° = \delta_1 + \frac{\delta_1 - \delta_2}{2}$

Bei bewegter Luft war die Verdunstung mehr als 5 mal so stark wie bei ruhiger. Beobachtungen in Abständen von 20 Sekunden ergaben nahezu das Gleiche. Man mißt auf diese Weise die Verdunstung der feuchten Thermometerhülle bei der Temperatur der Umgebung. Das Maß ist ein relatives. Sollen verschiedene Thermometer benutzt werden, so bedürfen sie einer Eichung.

An zweiter Stelle sprach Herr Dr. ALBRECHT über seine **Wolkenuntersuchungen auf dem Hohen Sonnblick.** (S. a. diese Zeitschr. 1925, S. 110.)

Die Untersuchungen bezweckten die Erprobung eines einfachen Meßgerätes zur Bestimmung des Wassergehaltes der Wolken durch unmittelbare Wolkenuntersuchungen, ferner die Entscheidung der Frage, ob die von H. KÖHLER in den Rauhreifablagerungen und Niederschlägen festgestellten Chlorbeimengungen, die nach seinen Untersuchungen durch die als Kondensationskerne der unteren Wolken vorwiegend dienenden Meersalzpartikelchen verursacht werden, auch auf dem höheren und kontinentaler gelegenen Sonnblick nachzuweisen wären.

Im ersten Vortrag wird ein Überblick über die bekannten und die möglicherweise noch verwendbaren

[1]) Vgl. GROSSMANN, Einige Sätze über das Verhalten von Thermometern. Annal. d. Hydrogr. u. maritimen Meteorologie, November 1897.

[2]) JOH. SCHUBERT, Das feuchte Thermometer als Wärmemaß. Meteorolog. Zeitschr. 1915, S. 404.

neuen Meßmethoden des Wolkenwassergehaltes gegeben. Die chemische Absorptionsmethode von CONRAD und später von WAGNER wird beschrieben. Ihre verhältnismäßige Umständlichkeit ist die Ursache der geringen Zahl der bisher durchgeführten Wolkenmessungen. Als neue Prinzipien kommen die Widerstandshygrometer und das geheizte Haarhygrometer in Betracht. Neu ist bei letzterem das von einem feinen elektrisch erwärmten Heizdraht umwundene Hygrometerhaar. Das Haarhygrometer zeigt dann eine geringere Luftfeuchtigkeit an, als in der Luft herrscht. Die Feuchtigkeitsverminderung hängt von Heizung und Ventilation eindeutig ab und ist experimentell bestimmbar. In Wolken und Nebeln ist die Feuchtigkeitsverminderung geringer, als zu erwarten wäre. Diese Änderung der Feuchtigkeitsverminderung hängt von der Sichtweite ab. Diese kann als ungefähres Maß für den Wassergehalt in der Wolke angesehen werden, so daß der Schluß berechtigt ist, daß das geheizte Haarhygrometer den Wassergehalt der Wolken zu messen ermöglicht. Die Prüfung des geheizten Haarhygrometers geschah durch gleichzeitige Beobachtung der Sichtweite. Leider konnte die chemische Absorptionsmethode von CONRAD infolge Schwierigkeit der Apparatbeschaffung nicht gleichzeitig angewandt werden. Es wurden zahlreiche Messungen in Wolken bei verschiedenen Wetterlagen gewonnen. Am Schluß wurde die Lage des Beobachtungsplatzes und der von ihr zu erwartende Einfluß auf die Ergebnisse zum Teil an Lichtbildern behandelt.

Von den Chlorgehaltsmessungen des Ablagerungswassers konnte berichtet werden, daß sie im Mittel von 12 Werten zufällig genau den von KÖHLER am häufigsten gefundenen Wert von 0,0043 g NaCl/Lit. trafen. Im zweiten Vortrag wurde eine theoretische Begründung für die Meßfähigkeit des Wassergehaltes der Wolken durch das geheizte Haar gegeben. Als Grund wurde die Ablagerung von Nebelteilchen am Haar erkannt, zu deren Verdunstung ein Teil der dem Heizdraht zugeführten Wärme aufgewandt werden muß, die somit der Erwärmung des Haares und Erhöhung seiner Temperatur zugute gekommen wäre. Theoretisch ließ sich besonders nachweisen, daß eine lineare Abhängigkeit zwischen Wassergehalt und der Differenz der relativen Feuchtigkeit, die das geheizte Haar tatsächlich anzeigt, und der, die es ohne Nebel angezeigt hätte, besteht.

Unter Voraussetzung der Gültigkeit dieser Theorie wurden die Sonnblickmessungen bearbeitet und das Ergebnis zum Teil an Tafeln erläutert. Untersucht wurde eine Stratocumuluswolke am 28. Juli 1924, die Wolken einer sekundären Aufgleitfläche am 1. August 1924, mehrere kleine Gewittercumuli am 2. August 1924, ein orographisch stark beeinflußter Kälteeinbruch am 5. August 1924 und Wärmekumuli um den Gipfel am 9. August 1924. Eine Zusammenstellung der gemessenen Wassergehaltswerte mit der Sicht gab ähnliche Verhältnisse, wie sie CONRAD und WAGNER erhalten hatten.

In der Sitzung am 21. April berichtete Herr Dr. KÖLZER über **Beiträge zu Meßmethoden im praktischen Wetterdienst.**

Einleitend betonte der Vortragende, daß bei den in Frage kommenden Meßmethoden besonders Rücksicht auf leichte Transportfähigkeit und Unterbringung des Materials sowie auf möglichst einfache Ausführung der Beobachtungen genommen werden mußte und sich die Ausbildung der Beobachter auf die praktische Beherrschung der Meßmethoden zu beschränken hatte.

Die Ermittlung der Höhenwerte von Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit bleibt eine Ausnahme, die sich auf wichtige Fälle beschränkt, während man sich im allgemeinen mit der Ermittlung der Bodenwerte dieser Elemente und der Berücksichtigung der mittleren meteorologischen Verhältnisse für die Höhe begnügt.

Dagegen wird bei der Ermittlung des Höhenwindes neben der Methode des Einfachanschnittes in zunehmendem Maße der Doppelanschnitt angewendet, in wichtigen Fällen sogar der Dreifachanschnitt gefordert. Hierbei wurde die praktische Ausnutzung einer Doppelbasis und die richtige Wahl der Füllstelle dargelegt. Zur Temperatur- und Windmessung in den untersten 300 m ist ein besonders kleines Drachenmodell und ein leichter Meteorograph gebaut worden. An die Beschreibung dieser beiden Apparate schloß sich die Mitteilung einiger Beobachtungsergebnisse an. Erwähnenswert ist hierbei, daß die Methode auch bei Windstille Temperaturmessungen ohne Verwendung von Ballonen gestattet.

Um bei der Bodenwindmessung von den Bodenstörungen freizukommen, bedient man sich eines ausziehbaren Mastes, der an 3 Stellen durch Seile und Spannschlösser fest abgespannt wird und an seinem oberen Ende einen Ausleger zur Befestigung einer Windfahne und eines Schalenkreuzanemometers trägt. Durch einen kombinierten Stecker und durch Vermittlung eines biegsamen Aderkabels werden die Bewegungen der Windmeßapparate auf die Registrierinstrumente übertragen, die in einiger Entfernung vom Mast aufgestellt werden können. KN.

Berichtigungen.

In der vorläufigen Mitteilung im Heft 20 über „Anregung von Spektrallinien durch chemische Reaktionen" von H. FRÄNZ und H. KALLMANN muß es im letzten Absatz (S. 442) statt 3.—15. Linie des Natriums „die Linie $1s - 3p$ des Natriums" heißen.

In meiner Mitteilung „Das Gesetz über die Temperaturskala und die Wärmeeinheit vom 7. August 1924" im Heft 20 muß es auf Seite 423, Spalte 2, Zeile 23

$4{,}1863 \cdot 10^7$ Erg statt $4{,}1821 \cdot 10^7$ Erg

heißen. HENNING.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.